

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

**Přírodovědecká fakulta**



**Základní a aplikovaný výzkum  
tvorby lidského hlasu**

Habilitační práce v oboru Biofyzika

**RNDr. Jan G. Švec, Ph.D. et Ph.D.**

Olomouc 2019

Jan G. Švec: Základní a aplikovaný výzkum tvorby lidského hlasu. Habilitační práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2019.

Jan G. Švec: Basic and Applied Research on Human Voice Production. Habilitation Thesis, Palacký University Olomouc, Czech Republic, 2019.

#### Copyright

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této práce nemůže být přetištěna, kopírována či jakkoli využita bez svolení autora.

Tato habilitační práce je založena na publikacích, které jsou chráněny licenčními ujednáními s organizacemi Acoustical Society of America; American Speech-Language-Hearing Association; Annals Publishing Company; Česká lékařská společnost J. E. Purkyně; Elsevier; Informa, UK; Lippincott Williams & Wilkins; Plural Publishing; Springer; Taylor and Francis; a the Voice Foundation. Tyto publikace jsou zde přetištěny v souladu s příslušnými licenčními ujednáními. Jejich další kopírování či přetištění je možné pouze se svolením výše zmíněných organizací.

All rights reserved. No part of this publication may be reprinted or utilized in any form by any electronic, mechanical or other means, now known or hereafter invented, including (but not limited to) photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system without permission of the author.

The publications in the present habilitation thesis are protected by copyright of Acoustical Society of America; American Speech-Language-Hearing Association; Annals Publishing Company; Česká lékařská společnost J. E. Purkyně; Elsevier; Informa, UK; Lippincott Williams & Wilkins; Plural Publishing; Springer; Taylor and Francis; and the Voice Foundation. They are presented and reprinted in accordance with the copyright agreements with the respective publishers. Further copying or reprinting can be done exclusively with the permission of the respective publishers.

© 2019 Jan G. Švec, Olomouc, Czech Republic

© 2003, 2007, 2015 Acoustical Society of America

© 2003, 2010, 2018 American Speech-Language-Hearing Association

© 2007 Annals Publishing Company

© 1999, 2009 Česká lékařská společnost J. E. Purkyně

© 2013 Informa, UK

© 2011 Plural Publishing

© 1996 Lippincott-Raven Publishers

© 2012 Lippincott Williams & Wilkins

© 2017 Springer

© 2003 Taylor & Francis

## Souhrn

Habilitační práce představuje tři okruhy interdisciplinárního výzkumu autora zaměřeného na tvorbu lidského hlasu a kmitání hlasivek.

První část je věnována vysokorychlostní videolaryngoskopické metodě videokymografie, která byla autorem vyvinuta ve spolupráci s nizozemskými odborníky za účelem studia kmitů hlasivek. Je zde popsán vývoj této metody a její postupná aplikace pro vyšetřování a podrobnější diagnostiku poruch hlasu v lékařské praxi. Podle vlastností kmitání hlasivek jsou identifikovány různé biomechanické příčiny poruch hlasu a je ukázáno, jak lze zkombinovat videokymografickou a tradiční laryngostroboskopickou metodu pro zpřesnění diagnostiky poruch hlasu. Pozornost je také věnována charakteristikám kmitání hlasivek u zdravých osob a jejich přirozené variabilitě, kterou je třeba brát v úvahu při odlišování patologických a fyziologických stavů v klinické praxi. Na závěr je kvantifikován klinický význam videokymografie pro diagnostiku a léčbu poruch hlasu.

Druhá část práce se týká problematiky dozimetrie a akcelerometrie lidského hlasu. Jejím cílem je získat objektivní data o dlouhodobém používání hlasu, a to zejména u hlasových profesionálů a učitelů, kteří obecně představují nejpočetnější skupinu pacientů s poruchami hlasu. Je zde popsána metodika měření hlasové zátěže prostřednictvím tzv. hlasových dávek a představen speciálně vyvinutý přístroj pro celodenní měření hlasu „NCVS hlasový dozimetr“. Dále se tato část věnuje odhadu hladin akustického tlaku hlasu ze signálu akcelerometru umístěného na krku člověka, který je v případě celodenní dozimetrie používán. Na konci této části jsou uvedena měření zjišťující informace o používání hlasu učitelů během pracovní doby a volného času.

Třetí část práce je věnována zlepšení reprodukovatelnosti měření a vyšetření hlasu. Tato část popisuje výběr správného mikrofону, maximální přípustnou hladinu šumu a hluku pozadí, a poskytuje vysvětlení a doporučení pro měření hladin akustického tlaku (SPL) hlasu a řeči. Jsou zde také formulována doporučení k užívání symbolů pro označování harmonických frekvencí a formantů a je popsán nástroj pro kvantifikaci hlasových potíží pacienta pro potřeby klinické praxe – česká verze psychometrického dotazníku „Voice Handicap Index“, která může být používána v klinické praxi v České republice. Na závěr jsou uvedeny minimální protokoly pro instrumentální klinické vyšetření hlasu, které byly doporučeny mezinárodní Komisí pro protokoly pro instrumentální hodnocení hlasu americké společnosti ASHA (American Speech-Language Hearing Association Committee on Instrumental Voice Assessment Protocols).

## **Abstract**

This habilitation thesis provides an overview of three areas of author's interdisciplinary research focused on human voice production and vocal fold vibrations.

The first part is devoted to a high-speed videolaryngoscopic method of videokymography, which was invented and developed by the author in collaboration with the specialists from the Netherlands, for studying vocal fold vibrations. The development of the method is described here as well as its progressive application for examination and detailed diagnostics of voice disorders in medical practice. Various vibration features of the vocal folds are described here to identify different biomechanical mechanisms of voice disorders. It is demonstrated how the novel videokymographic method can be combined with the traditional laryngostroboscopic method for improving diagnostics of voice disorders. Attention is paid also to the vibratory features of healthy vocal folds and their natural variability which should be taken into account when distinguishing the pathologic and physiologic findings in clinical practice. As the end of this part, the contribution of videokymography to diagnosis and treatment of voice disorders is quantified.

The second part of the thesis is devoted to the problem of voice dosimetry and voice accelerometry. The goal of these methods is to bring objective data on long-term voice use, particularly in voice professionals and teachers who represent the majority of phoniatic clients with voice disorders. Determination of vocal load using the newly introduced vocal dose measures is described and a novel device for whole-day voice measurement – the NCVS voice dosimeter – is presented here. Further, estimation of the sound pressure levels of voice from the neck accelerometer is investigated for voice dosimetry purposes. The end of this part describes measurements gaining information on the voice use in teachers during their working time and free time.

The third part of the thesis is devoted to improvements in reproducibility of voice measurements. It describes the selection of a proper microphone, the maximum allowable noise levels, provides tutorial and recommendations for the measurement of sound pressure level (SPL) of voice and speech, and offers recommendations for symbolic notation of harmonics, resonances, and formants in vocalization. Also, it describes a Czech version of the psychometric questionnaire Voice Handicap Index which serves as a tool for self-assessment of voice problems in patients with voice disorders and can be used in clinical practice in the Czech Republic. At the very end, minimum protocols for instrumental clinical assessment of voice are described as recommended by the international American Speech-Language Hearing Association Committee on Instrumental Voice Assessment Protocols.

## Poděkování

Během mé vědecké práce jsem měl možnost blízce spolupracovat s mimořádnými osobnostmi různých profesí, které výrazně přispěly ke stavu znalostí o produkci lidského hlasu v českých zemích a ve světě a výrazně ovlivnily i můj pohled na problematiku lidského hlasu. Z těch nejzásadnějších a nejbližších, kterým bych chtěl poděkovat, to jsou (v pořadí ve kterém jsem s nimi spolupracoval):

- prof. RNDr. Josef Pešák, CSc. - multidisciplinární přírodovědec, který zavedl výzkum mechanismů produkce hlasu a řeči na UP v Olomouci, byl mým prvním školitelem v průběhu mého magisterského studia a seznámil mě s problematikou výzkumu lidského hlasu.

- prof. Harm K. Schutte, MD, Ph.D., ORL lékař a foniatr, který byl mým školitelem během mých doktorských studijních a výzkumných pobytů na Univerzitě v Groningenu v Nizozemsku a který mi dal svou důvěru a podporu při vývoji nové vyšetřovací metody kmitání hlasivek - videokymografie.

- Donald G. Miller, Ph.D., hlasový pedagog, který mi umožnil hlubší pohled do mechanismů zpěvního hlasu a zasvětil mě do tajů mluveného a psaného anglického jazyka během mých pobytů v Groningenu.

- doc. MUDr. František Šram, CSc., ORL lékař a foniatr, jeden z pilířů české foniatrie a člověk, který mi umožnil pokračovat v práci v mém oboru, když se jinde zavřely dveře. Lékař, který mi prakticky dokázal, že blízká interdisciplinární spolupráce mezi lékařem a přírodovědcem může výborně fungovat ve výzkumu i péči o pacienty s poruchami hlasu. Laryngolog, který jako první na světě uvedl do klinické praxe metodu videokymografii.

- ing. Jaromír Horáček, DrSc., odborník v oboru termomechaniky, aeroakustiky a biomechaniky, díky kterému jsme měli možnost rozvinout oblast fyzického a matematického modelování tvorby lidského hlasu v ČR.

- prof. Ingo R. Titze, Ph.D., fyzik, který zásadním způsobem posunul světové vědomosti o principech tvorby hlasu a se kterým jsem měl tu čest pracovat v Národním ústavu pro hlas a řeč (National Institutes for Voice and Speech, Denver Center for the Performing Arts, Denver, USA) na řešení projektu zaměřeném na vývoj nových metod pro monitorování používání hlasu u hlasových profesionálů.

- prof. Johan Sundberg, Ph.D., hudební akustik, který zasvětil svůj život základnímu výzkumu hlasu a řeči a se kterým jsem měl tu čest spolupracovat při mém pobytu na Royal Institute of Technology (Stockholm, Švédsko) při výzkumu rejstříků zpěvního hlasu. Díky němu jsem mohl více rozvinout spolupráci se švédskými kolegy.

- prim. MUDr. Jitka Vydrová, ORL lékařka a ředitelka Hlasového a sluchového centra Praha, která je v současnosti vůdčí osobností věnující se diagnostice a péči o lidský hlas

v ČR. Díky ní jsme byli schopni dále rozvinout diagnostické možnosti videokymografie a dalších metod v klinické praxi a také společně zavést do ČR oslavu Světového dne hlasu.

Dále bych chtěl poděkovat mým studentům, zejména doktorandům a postdokům (C. Herbst, H. Šrámková, V. Hampala, P.A. Andrade, K.V. Phadke, S.P. Kumar), kteří se mnou také spojili své síly při hledání odpovědí na otázky souvisejícími s fungováním a s mechanismy tvorby hlasu.

Děkuji také všem dalším kolegům z pracovišť v České republice a v zahraničí, se kterými jsem měl a mám možnost spolupracovat a bez jejichž ochoty, zkušeností, znalostí, dovedností, energie a času bych nemohl hlouběji proniknout do tajů dějů provázejících tvorbu lidského hlasu.

V neposlední řadě děkuji mé rodině a mým přátelům za podporu a za to, že tu jsou.

Práce byla podpořena následujícími projekty:

*GA16-01246S (Grantová Agentura ČR): Počítačové a experimentální modelování samobuzených kmitů hlasivek a vliv jejich poškození na lidský hlas. (ČR, 1.1.2016-31.12.2018)*

*TA04010877 (Technologická agentura ČR): Automatické hodnocení videokymografických záznamů pro časnou diagnostiku a prevenci nádorových onemocnění hlasivek (ČR, 1.7.2014-30.6.2017)*

*OPVK CZ.1.07/2.3.00/30.0004: Post-UP - Podpora vytváření excelentních výzkumných týmů a intersektorální mobility na Univerzitě Palackého v Olomouci (ČR, 1.7.2012-30.6.2015)*

*OP VK CZ.1.07/2.3.00/20.0057: Rozvoj a internacionalizace biofyzikálního výzkumu na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci (ČR, 1.1.2012-31.12.2014)*

*OP VK CZ.1.07/2.4.00/17.0009: Nové metody a technologie pro edukaci, diagnostiku, terapii a rehabilitaci lidského hlasu - spojení základního výzkumu v oblasti fyziologie hlasu s vysokoškolským vzděláváním a praxí ve specializovaném zdravotnickém zařízení (ČR, 1.6.2011-31.5.2014)*

*GAČR 101/08/1155: Počítačové a fyzikální modelování vibroakustických vlastností vokálního traktu člověka s ohledem na optimalizaci hlasové kvality (ČR, 2008-2010)*

*STW – GK 5973: Voice Diagnostics in a New Perspective (NL, 1.10.2004-31.8.2007).*

*EUREKA E! 2641 NEWVOICE (OE129) (EU, 1.10.2003-31.12.2005).*

*NIDCD 1 RO1 DC04224-01A1: Research Toward Occupational Safety in Vocalization (NIH, USA, 2001-2004).*

*GAČR 106/98/K019: Matematicko fyzikální modelování vibroakustických systémů v biomechanice hlasu a sluchu se zaměřením na vývoj náhradních materiálů a protéz (ČR, 1998-2003).*

*IGA MZ ČR 6130-3: Výzkum využití videokymografie pro včasnou diagnostiku poruch hlasu. (ČR, 2000-2002).*

*EUREKA EU 723 - Artificial larynx (EU, 1996-1999).*

## Obsah

I. Úvod .....	1
II. Chronologický popis výzkumné práce .....	2
III. Okruhy habilitační práce .....	5
Část 1: Vývoj laryngoskopické vyšetřovací metody videokymografie a její aplikace v klinické praxi .....	7
1.1. Zviditelnění hlasivek pomocí laryngoskopie .....	7
1.2. Vývoj videokymografie (VKG) ( <i>publikace č. I</i> ) .....	9
1.3. Interpretace kmitů hlasivek ve videokymografii ( <i>publikace č. I a II</i> ) .....	12
1.4. Aplikace videokymografie v klinické praxi ( <i>publikace č. II</i> ) .....	13
1.5. Variabilita kmitání zdravých hlasivek ve videokymografii ( <i>publikace č. III</i> ) ...	16
1.6. Kategorizace rysů kmitání hlasivek u poruch hlasu ( <i>publikace č. IV</i> ) .....	19
1.7. Klinické vyšetření hlasu pomocí videokymografie ( <i>publikace č. V</i> ) .....	23
1.8. Normální nález ve videokymografii ( <i>publikace č. V</i> ) .....	23
1.9. Další kymografické metody pro sledování kmitů hlasivek ( <i>publikace č. VI</i> ) ...	24
1.10. Kvantifikace parametrů kmitání zdravých hlasivek z vysokorychlostní videolaryngoskopie pro potřeby videokymografie – amplituda, koeficient otevření, koeficient rychlosti a jejich variabilita podél délky glottis ( <i>publikace č. VII</i> ) .....	25
1.11. Klinický přínos videokymografie ( <i>publikace č. VIII</i> ) .....	27
Část 2: Dozimetrie a akcelerometrie hlasu .....	29
2.1. Měření hlasové zátěže - základy hlasové dozimetrie ( <i>publikace č. IX-XI</i> ) .....	29
2.2. Zavedení hlasových dávek a jejich definice ( <i>publikace č. IX</i> ) .....	29
2.3. Experimentální metodika měření hlasové zátěže ( <i>publikace č. X</i> ) .....	31
2.4. Hlasový dozimetr pro celodenní měření hlasových dávek ( <i>publikace č. XI</i> ) .....	32
2.5. Odhad hladiny akustického tlaku (SPL) řeči člověka ze signálu akcelerometru na krku ( <i>publikace č. XII</i> ) .....	34
2.6. Měření rozptřeni hlasové zátěže a hlasového odpočinku během pracovní doby a volného času učitelů ( <i>publikace č. XIII</i> ) .....	35
Část 3: Zlepšení reprodukovatelnosti měření a vyšetření hlasu .....	37
3.1. Výběr mikrofону pro měření hlasu ( <i>publikace č. XIV</i> ) .....	37
3.2. Přípustné hladiny hluku pozadí ( <i>publikace č. XV</i> ) .....	38
3.3. Měření hladin akustického tlaku (SPL) hlasu a řeči - základní informace a doporučení ( <i>publikace č. XVI</i> ) .....	40
3.4. Doporučení k užívání symbolů pro označování harmonických frekvencí a formantů hlasu ( <i>publikace č. XVII</i> ) .....	42

3.5. Kvantifikace vnímání hlasu pacientem pro potřeby klinické praxe ( <i>publikace č. XVIII a č. XIX</i> ) .....	43
3.6. Požadavky a protokoly pro klinická měření hlasu - doporučení komise ASHA ( <i>publikace č. XX</i> ).....	45
IV. Závěr .....	46
Reference .....	47
Seznam publikací přiložených k práci .....	65
Prohlášení hlavních autorů k publikacím, ve kterých není autor této práce prvním nebo korespondenčním autorem .....	69



## I. Úvod

Hlas slouží jako běžný základ řeči, používáme ho každodenně a většina z nás ho bere jako samozřejmost. Důležitost hlasu si většinou uvědomíme až tehdy, když s ním nastanou problémy. Tyto problémy mohou být různorodé – od nejjemnějších potíží zpěváků, přes problémy s hlasem při mluvení, až po úplnou ztrátu hlasu vlivem rakoviny hrtanu. Moderní společnost využívá hlas stále více jako pracovního nástroje. Význam manuální práce klesá, zatímco stoupá význam pracovních míst založených na mezilidské komunikaci [1] a v takové společnosti má porucha hlasu stále více vliv i na pracovní zařazení člověka [2–4]. Znalosti o mechanismech tvorby hlasu jsou důležité pro prevenci, diagnostiku a léčbu poruch hlasu. Jsou užitečné také pro profese, které využívají hlas jako pracovní či umělecký nástroj.

Na první pohled se studium lidského hlasu jeví jako úzké téma; když se ale do něho ponoříme hlouběji, zjistíme, že pro pochopení mechanismů produkce lidského hlasu a výsledných dějů potřebujeme čerpat informace z mnoha oborů. Z přírodovědných a inženýrských oborů to jsou například:

- Akustika, neboť lidský hlas je forma specifického zvuku.
- Biomechanika, neboť hlas vzniká kmitáním biologických struktur – hlasivek – a jejich biomechanické vlastnosti hrají klíčovou roli pro základní frekvenci hlasu i pro výslednou kvalitu hlasu.
- Aerodynamika, neboť kmitání hlasivek je vybuzeáno prostřednictvím proudění vzduchu dýchacími cestami z plic přes hlasivky a ústa ven do prostoru.
- Nelineární dynamika, neboť kmitání hlasivek vykazuje typické nelineární dynamické rysy jako např. náhlé změny režimu kmitů (bifurkace při přeskokcích hlasu např. v pubertě) či chaotický průběh kmitů (v případě chraptivých či chraplavých hlasů).

Z lékařských oborů to jsou například:

- Otorinolaryngologie a foniatrie, neboť tyto obory zahrnují péči o hlasové ústrojí.
- Anatomie a fyziologie, neboť tyto obory popisují hlasové ústrojí a jeho funkci.
- Neurologie, neboť fonační proces je řízen centrální nervovou soustavou.

Z filozofických oborů to je zejména:

- Fonetika, která se zabývá lidskou mluvou z různých hledisek.

Z pedagogických oborů (které někdy přesahují i do oboru zdravotnických věd) to jsou například:

- Psychologie a psychometrie, neboť psychický stav člověka se promítá do vlastností hlasu, některá hlasová onemocnění mají psychický původ a hlasové problémy ovlivňují psychiku i kvalitu života člověka.
- Logopedie, což je obor, který se zabývá rehabilitací fonační a artikulační funkce.
- Hlasová pedagogika, která se věnuje výuce zpěvu a lepšímu pochopení zpěvního hlasu.

Z uvedeného vyplývá, že studium lidského hlasu výrazně těží ze spolupráce odborníků různých profesí. Interdisciplinární spolupráce a multidisciplinarita se markantně projevuje na vědeckých symposiích věnovaných lidskému hlasu. Za ty nejvýznamnější můžeme považovat např. symposium „Care of the Professional Voice“, které každoročně pořádá organizace the Voice Foundation ve Philadelphii v USA, Pan Evropskou hlasovou konferenci (Pan European Voice Conference, PEVOC), která je pořádána každé dva roky na různých místech v Evropě, konferenci ICVPB (International Conference on Voice Physiology and Biomechanics) pořádanou každé tři roky na jiném kontinentu, či konferenci AQL (International Conference Advances in Quantitative Laryngology), která je pořádána v různých zemích světa každé dva roky.

Jakkoliv náročný na integraci informací z různých oborů, výzkum lidského hlasu není příliš lukrativní vědeckou disciplínou. Impaktní faktory časopisů věnovaných tomuto oboru jsou relativně nízké (většinou pod 2), neudělují se zde Nobelovy ceny a lze těžko očekávat (snad jen s výjimkou aplikací automatického rozpoznávání řeči, které již patří do příbuzného oboru řečové komunikace), že by se na vyvinutých produktech dalo výrazně zbohatnout. Často se tomuto výzkumu věnují lékaři, přírodovědci, či inženýři, kteří se sami aktivně věnují hudbě či zpěvu a studují lidský hlas, protože se prostě chtějí sami o hlasu něco dozvědět a proniknout do jeho tajů, případně pomoci ostatním, kteří s ním mají problémy. Možná právě proto je nevelká světová komunita odborníků intenzivně se věnujících základnímu výzkumu tvorby lidského hlasu (odhadem, podle účasti na světových konferencích věnovaných lidskému hlasu, je to kolem 1000 odborníků na světě) velmi přátelská a já jsem za to velmi rád.

## **II. Chronologický popis výzkumné práce autora**

K problematice lidského hlasu mě přivedl můj přirozený zájem o hudbu a zpěv. Během mých středoškolských a vysokoškolských studií jsem mj. působil i jako zpěvák, kytarista a hráč na foukací harmoniku v jazz-folkové kapele a jedno z témat, které mě začalo v této souvislosti přirozeně zajímat, byly hlasové rejstříky a nestability hlasu, které znesnadňují zpěv. Tyto děje se spontánně projevují při zpěvu některých, tzv. přechodových, tónů a objevují se i v řeči zejména v letech dospívání v období mutace hlasu. Jak jsem postupem času zjistil, téma hlasových rejstříků je zřejmě nejkontroverznějším tématem hlasových věd a hlasové pedagogiky a dosud nebyly dostatečně vysvětleny všechny mechanismy, které zde hrají roli. Navíc se ukazuje, že toto téma úzce souvisí i s ději ovlivňujícími nestabilitu hlasu a chraptivost u osob s poruchami hlasu. Téma hlasových rejstříků se tak stalo prvním velkým tématem pro mou vědeckou práci na Univerzitě Palackého v Olomouci (v letech 1987-1992, pod vedením doc. J. Pešáka, CSc.), na Univerzitě v Groningenu v Nizozemsku (od roku 1993, pod vedením prof. H.K. Schutteho, MD, Ph.D.), na Royal Institute of Technology ve Stockholmu (v roce 2004, ve spolupráci s prof. J. Sundbergem, Ph.D.) a nadále se k němu pro jeho neustálou aktuálnost vracím. Téma hlasových rejstříků je studováno už v mých prvních článcích [5–7] a mé dizertační práci z roku 1996 [8]. Od té doby byly mé další hlavní výsledky publikovány v pracech [9–20].

Při studiu hlasových rejstříků je třeba mít přesné informace o kmitání hlasivek, které hrají zásadní roli pro tvorbu hlasu. V Nizozemsku mi proto v roce 1994 při mém doktorandském pobytu svěřil profesor Harm K. Schutte úkol vyvinout metodu, která by umožnila lépe sledovat kmitání hlasivek. Tak se v roce 1994 zrodila vysokorychlostní videolaryngoskopická metoda *videokymografie*, která nám umožnila zviditelnit děje a rysy kmitání hlasivek, jež dosud nebyly známy [21]. Prvotní vyšetření v Nizozemsku nám zviditelnily nespojitosti v kmitání hlasivek během přechodu hlasových rejstříků, a také nastínily možnost lépe odlišit chování hlasivek u zdravých a chraptivých hlasů [10].

Zásadní význam pro další vývoj mého směřování měla nabídka doc. MUDr. Františka Šrama, CSc. abych nastoupil v roce 1995 jako odborný asistent a výzkumný pracovník do Centra péče o nemocné s poruchami hlasu, řeči a vadami sluchu, Medical Healthcom, s.r.o. v Praze. Toto Centrum zároveň sloužilo jako Subkatedra foniatry a audiologie Institutu postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví. Při spolupráci s doc. Šramem jsem měl možnost se podrobně seznámit s problematikou klinického vyšetření hlasu, získat přehled o praktických problémech, se kterými se laryngologové a foniatři v ordinacích potýkají, a propojit mé zkušenosti ze základního výzkumu hlasu s klinickou praxí. V roce 1996 se doc. Šram rozhodnul jako první lékař na světě vyzkoušet naši nově vyvinutou metodu videokymografii v klinické praxi pro diagnostiku pacientů s poruchami hlasu. Získané záznamy nám odkryly nové možnosti diagnostiky poruch hlasu touto metodou [22–40]. Studium možností videokymografie pro zlepšení diagnostiky poruch hlasu se tak stalo dalším z hlavních dlouhodobých témat mého výzkumu, které je také stále aktuální a pokračuje i po ukončení aktivní profesní činnosti doc. Šrama díky jeho nástupkyni, prim. MUDr. J. Vydrové, v Hlasovém centru Praha [41–49].

Dalším velmi významným posunem v mé práci a vědomostech bylo započítí spolupráce s ing. J. Horáčkem, DrSc. z Ústavu termomechaniky (ÚT) AV ČR v Praze a doc. Ing. K. Dedouchem, CSc. z ČVUT Praha, se kterými jsme v letech 1997–1999 zahájili práce na modelování hlasu a na podrobnějším výzkumu biomechanických vlastností hlasivek a akustických vlastností vokálního traktu člověka. S dr. Horáčkem a jeho kolegy se nám podařilo změřit rezonanční frekvence živých hlasivek a vůbec poprvé zviditelnit k nim příslušné vlastní módy kmitání hlasivek [50]. Vytvořili jsme také originální matematický model hlasivek, který formuloval přesné rovnice pro budící aerodynamické síly dodávající energii pro kmitání hlasivek a umožnil určit impaktní napětí během vzájemných nárazů hlasivek při fonaci [51–57]. Také jsme na ÚT AV ČR (ve spolupráci s prof. Vilkmánem z Finska) vytvořili experimentální zařízení pro studium kmitání hlasivek u preparátů hrtanů, a po padesáti letech jsme tak obnovili v ČR experimentální výzkum hlasu pomocí preparátů hrtanů (poslední takové experimenty v ČR byly popsány prof. Sovákem v roce 1945). Naše hlavní výsledky v této oblasti byly popsány v pracech [12,14,16,58–63]. S dr. Horáčkem se nám dále podařilo vytvořit (ve spolupráci s prof. ing. T. Vampolou, Ph.D. z ČVUT Praha a ing. P. Švancarou, Ph.D. z VUT Brno) konečnoprvkové matematické a fyzikální modely vokálního traktu člověka pro české samohlásky na základě vyšetření osob pomocí magnetické rezonance a výpočetní tomografie [64–77]. Všechna tato témata výzkumu jsou také stále aktuální a vzájemná spolupráce s ÚT AV ČR, ČVUT Praha a VUT Brno na vývoji fyzických a matematických modelů hlasového orgánu nadále pokračuje.

Nové výzkumné téma mé práce a neocenitelnou zkušenost mi přinesl pobyt ve Spojených státech amerických v letech 2001-2004 u prof. I. R. Titzeho v National Institute for Voice and Speech v Denveru, kde jsem pracoval na projektu „Towards Occupational Safety in Vocalization“. Tento projekt měl za úkol vyvinout metodu pro měření hlasové zátěže u učitelů, kteří trpí značným množstvím hlasových problémů. V rámci tohoto projektu jsme v základním tříčlenném týmu (Titze-Švec-Popolo) definovali základy hlasové dozimetrie a vyvinuli přístroj pro celodenní monitorování hlasu - hlasový dozimetr. Naše výsledky byly publikovány mimo jiné v pracech: [78–86].

Po skončení mého pobytu v USA jsem se, po tříměsíční stáži u prof. Sundberga ve švédském Stockholmu v dubnu až červnu roku 2004, navrátil v letech 2004-2007 na Univerzitu v Groningenu v Nizozemsku, abych se účastnil řešení projektu prof. Schutteho věnovanému vývoji nové generace videokymografické kamery. Zatímco fyzický vývoj kamery měl na starosti můj kolega Q. Qiu (nyní ředitel firmy Cymo, b.v. v Nizozemsku), mým úkolem bylo stanovit a popsat rysy kmitání hlasivek důležité pro rozpoznání různých typů poruch kmitání hlasivek. S tím souvisejícím dalším úkolem bylo vyvinout systematický protokol pro vizuální hodnocení videokymografických záznamů, který by umožnil lepší porovnání výsledků subjektivní a objektivní analýzy klinických videokymografických záznamů. Výsledkem této práce byly, mimo jiné, publikace [36–38,87,88].

V roce 2007 jsem se, na základě nabídky prof. RNDr. P. Ilíka, Ph.D., navrátil na Přírodovědeckou fakultu UP v Olomouci, na tehdejší oddělení biofyziky na Katedře experimentální fyziky, nyní Katedru biofyziky, abych zde rozvinul novou větev výzkumu věnovanou studiu mechanismů produkce lidskému hlasu a kmitání hlasivek. Práce na UP v Olomouci mi umožnila pokračovat ve spolupráci s kolegy v ČR a zahraničí na dříve započatých tématech, zapojit do výzkumu problematiky hlasu bakalářské, magisterské a postgraduální studenty UP a rozvinout další spolupráci s kolegy z celého světa v rámci projektů OPVK, GAČR, TAČR atd.

Nutnost kvalitních měření a reprodukovatelnosti výsledků vedla k rozvinutí mého dalšího významného současného tématu – vylepšení měřících metod a standardizace měření hlasu, kde jsem, kromě svých doktorandů, spojil své síly např. s dr. S. Granqvistem z Royal Institute of Technology ve švédském Stockholmu a s kolegy z USA v rámci American Speech-Language Hearing Association Committee on Instrumental Voice assessment protocols [89–106].

Díky mému doktorandovi a poté postdokovi C. Herbstovi, Ph.D. z Rakouska jsem pak měl v posledních letech možnost, ve spolupráci s kolegy z Rakouska (prof. W.T. Fitch, Ph.D.) a Dánska (prof. C. Elemans, Ph.D.), hlouběji nahlédnout do tajů produkce zvuku u zvířat, zejména savců a ptáků [107,108].

### III. Okruhy habilitační práce

Na základě uvedených vědeckých aktivit je práce rozdělena na tři základní části podle mých odborných publikací, které vyšly po obhájení mé doktorské práce na UP v Olomouci v roce 1996:

Část 1: Vývoj vyšetřovací metody videokymografie a její aplikace v klinické praxi

Část 2: Dozimetrie a akcelerometrie hlasu

Část 3: Zlepšení reprodukovatelnosti měření a vyšetření hlasu

Tyto okruhy postihují části mé výzkumné práce, kde jsem byl hlavním autorem výzkumu, významným spoluautorem, nebo vedoucím práce a korespondujícím autorem v případě prací mých doktorandů. Vzhledem k tomu, že většina studií byla publikována v angličtině a velké množství z nich (zejména z druhého a třetího okruhu) doposud nebylo prezentováno pro českou komunitu odborníků, tato práce poskytuje přehled výše vybraných oblastí mého výzkumu v českém jazyce. Příložené publikace jsou vybrány tak, aby jejich přečtení umožnilo co nejvýstižnější, a nejstravitelnější přehled o mé práci nejen přírodovědcům, ale i lékařům, hlasovým terapeutům, logopedům, a dalším zájemcům o tuto problematiku z různých oborů. Vedle impaktovaných publikací jsou zde proto zařazeny i některé publikace neimpaktované, které poskytují širší a doplňující informace.

V práci je vynechána významná část mého výzkumu věnující se problematice hlasových rejstříků, rezonančních vlastností hlasivek a zpěvního hlasu [5–7,9,15–17,19,20,50,69,109–115]. Tato oblast je částečně shrnuta v mé dizertační práci z Univerzity v Groningenu z roku 2000 [10] a v mém přehledném článku z roku 2004 [13]. Dále je v práci vynechána oblast modelování hlasu [14,16,51–57,59,63,64,66–68,70–72,74,76,77,116–142], studie věnující se zkoumání hlasového ústrojí zvířat [96,101,103,107,108], mechanismů hlasových cvičení a terapií [75,143–145], klinické studie [39,47,146–148] a další témata, na kterých jsem se podílel jako spoluautor. Nejsou zde zahrnuty ani mé práce populárního a osvětového charakteru [34,149–157].



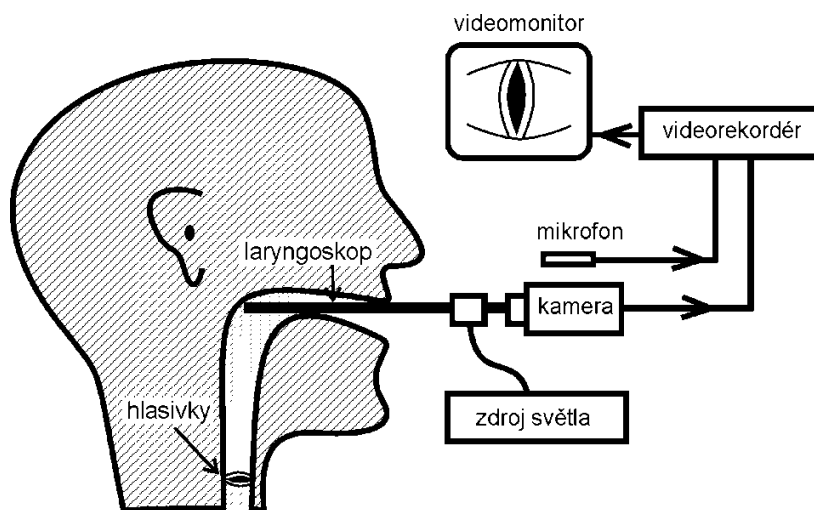
# Část 1: Vývoj laryngoskopické vyšetřovací metody videokymografie a její aplikace v klinické praxi

## 1.1. Zviditelnění hlasivek pomocí laryngoskopie

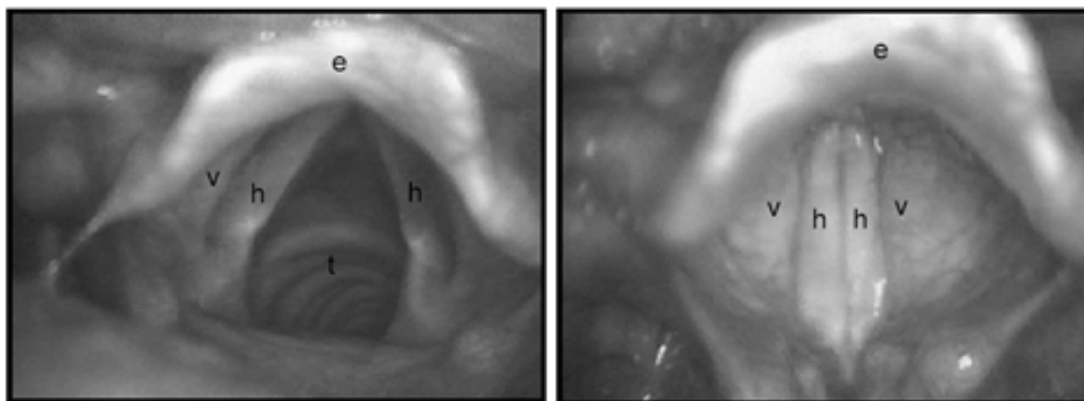
Základním orgánem pro vznik lidského hlasu jsou hlasivky. Hlasivky jsou schovány v hrtanu a pozorování jejich činnosti naživo není snadné. Poprvé se takové pozorování podařilo v 19. století pomocí lékařské metody, která se nazývá laryngoskopie. Historické prameny se poněkud rozcházejí v informacích, kdo provedl první laryngoskopii. Pravděpodobně to byl B. G. Babington, který v roce 1829 popsal svůj nástroj pro zobrazování hrtanu, který nazval „glottiscope“ a který obsahoval sadu zrcátek a retrakční spatulu pro kořen jazyka [158,159]. Větší význam pro uvedení laryngoskopie do lékařské praxe se však paradoxně přičítá nelékaři, zpěváku a hlasovému pedagogovi M. Garciovi, který kolem roku 1854 použil hrtanové (původně dentální) zrcátko pro zobrazení svých vlastních hlasivek a popsal jejich činnost [160,161]. Jeho publikace zaujala laryngologa L. Türcka ve Vídni, který se v roce 1857 pokusil použít tuto metodu v lékařské praxi. Jeho pokusy ale nejprve nebyly úspěšné, neboť byly závislé na slunečním světle a jeho zrcátka byla příliš velká [161]. O zpraktičtění této metody a zavedení hrtanového zrcátka do lékařské praxe se významným způsobem přičinil v polovině devatenáctého století v uherské Pešti český lékař J. N. Čermák, který si od dr. Türcka několik hrtanových zrcátek vypůjčil, upravil je a vymyslel způsob zavedení umělého světla do hrtanu za pomoci dalšího (čelního) zrcátka s otvorem umístěným před okem [161–164].

Moderní přístrojová technika používá nyní místo hrtanového zrcátka speciální endoskop, tzv. laryngoskop, který se podobně jako zrcátko opatrně zavede do úst za jazyk tak, aby jeho optický konec umožnil sledování hrtanu a hlasivek (Obr. 1). (Pozn: Obr. 1 znázorňuje tzv. rigidní laryngoskop. Existuje i flexibilní laryngoskop, který se zavádí přes nos [157,159,165,166], ten však ve studiích autora nebyl použit a proto zde není uváděn). K laryngoskopu je světlovodným kabelem připojen zdroj světla, který umožňuje osvětlení hlasivek. Pomocí optického adaptéru se k laryngoskopu připojuje videokamera, která společně se záznamovým zařízením (videorekordér či počítač s videokartou) umožňuje obraz hlasivek zaznamenat a prezentovat jej na videomonitoru. Laryngoskopie spojená s videozáznamem se označuje termínem *videolaryngoskopie*. Aby bylo možno k video záznamu zaznamenat i hlas, je k videorekordéru připojen mikrofon.

Obraz, který se po zavedení laryngoskopu naskytne, je znázorněn na obrázku č.2. Hlasivky jsou při dýchání rozevřené a při fonaci přiložené k sobě. Štěrbina, která se při otevření tvoří mezi hlasivkami, se nazývá *glottis*. Pohyby hlasivek a jejich nastavení lze regulovat pomocí množství svalů, jež jsou upnuty na chrupavčitou kostru hrtanu. Pomocí svalů je také možno měnit napětí hlasivek a tak ovlivňovat frekvenci jejich kmitů při rozechvění vzdušným proudem. Muži jsou schopni měnit tóny v rozsahu základních frekvencí přibližně 70 – 500 Hz, ženy v rozsahu přibližně 150 – 1000 Hz, přičemž zde bývají výrazné inter-individuální rozdíly.



**Obr. 1.** Sestava zařízení pro sledování a záznam hlasivek pomocí videolaryngoskopie: (z publikace [150]).



**Obr. 2.** Laryngoskopický obraz ukazující postavení hlasivek při dýchání (vlevo) a při fonaci (vpravo). h = hlasivka; v = ventrikulární řasa; e = hrtanová přiklopka (epiglottis); t = průdušnice (trachea). (Z publikace [8]).

Kmitání hlasivek je příliš rychlé na to, aby je bylo možno přímo sledovat okem či standardní videokamerou. Již od 19. století se proto pro zviditelnění kmitání hlasivek začalo používat stroboskopické světlo a je běžně používáno dodnes [167–170]. K světovým průkopníkům stroboskopie pro diagnostiku hlasu patřili čeští foniatři, zejména M. Seeman a M. Sovák [149,171–173]. Laryngoskopie, která využívá místo běžného spojitého světla světlo stroboskopické bývá označována termíny *laryngostroboskopie* nebo *strobolaryngoskopie*. Pokud je k tomu použita videokamera pro zachycení kmitů hlasivek, je tato metoda označována jako *strobovideolaryngoskopie*, *videostrobolaryngoskopie*, či někdy zkráceně jako *videostroboskopie*. Tyto stroboskopické metody jsou v současnosti považovány jako základní a standardní pro diagnostiku poruch hlasu v laryngologii a foniatrii. Přes svou doposud nezastupitelnou úlohu v diagnostice, stroboskopické metody však zobrazují pouze iluzorní efekt zpomaleného kmitání způsobený synchronizací kmitání hlasivek se záblesky stroboskopického světla, a proto nedokáží zviditelnit některé jemné detaily,



nepravidelnosti či náhlé děje v kmitání hlasivek, kdy nelze záblesky světla s kmity hlasivek synchronizovat.

Zviditelnění reálného kmitání hlasivek včetně nepravidelných a náhlých dějů bylo poprvé umožněno s vývojem vysokorychlostních filmových kamer, které poskytly frekvenci snímků více než desetkrát vyšší než počet hlasivkových kmitů za sekundu, tj. 1000 snímků za sekundu a více [174–179]. Prvotní vysokorychlostní filmové kamery byly od 80. let 20. století postupně nahrazeny digitálními videokamerami, které v současnosti představují nejmodernější nástroj pro studium kmitání hlasivek [157,180–192]. Laryngoskopická metoda používající vysokofrekvenční videokameru pro záznam kmitů hlasivek je označována jako *vysokorychlostní videolaryngoskopie* nebo *vysokorychlostní videoendoskopie hrtanu* [193]. Nevýhodou této metody je však její vysoká pořizovací cena (zpravidla milion korun a více), obrovské množství dat zaznamenaných vysokofrekvenční videokamerou (gigabajty za sekundu), z toho vyplývající relativně krátká doba záznamu (zpravidla několik sekund) a časová náročnost sledování záznamu (prohlédnutí 1 sekundy záznamu s 10 000 snímky za sekundu trvá téměř 7 minut při zpomalení na standardní frekvenci 25 snímků za sekundu), a následná potřeba zpracování tohoto záznamu metodami obrazové analýzy. Zejména časová náročnost představuje problém limitující použití vysokorychlostních kamer na klinických pracovištích, kde je třeba vyšetřit několik pacientů za hodinu.

## 1.2. Vývoj videokymografie (VKG) (publikace č. 1)

Pod vedením prof. Schutteho na Univerzitě v Groningenu byla v roce 1994 autorem této práce navržena a ve spolupráci s nizozemskou firmou Lambert Instruments vyvinuta speciální česko-nizozemská metoda, která byla nazvána *videokymografie* [10,21,28]. Videokymografie (VKG) byla vytvořena jako praktická a méně časově a finančně náročná alternativa vysokorychlostní videokamery. Základní oficiální článek o videokymografii vyšel v roce 1996 (*publikace č. 1* [21]). Podstatou videokymografie se stala následující úvaha (viz obr. 3):

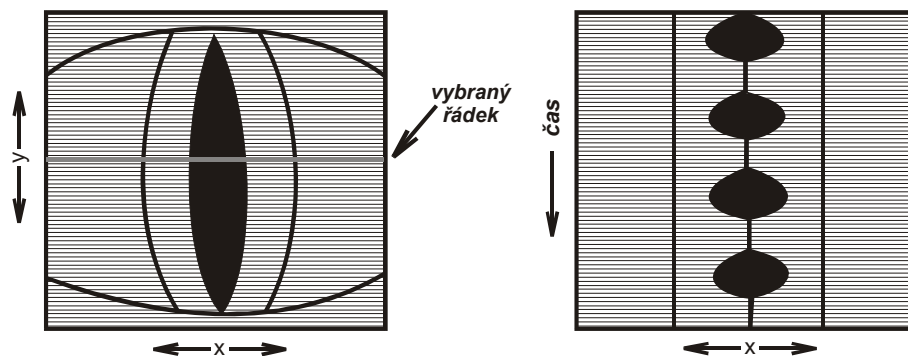
*Video obraz je standardně složen z horizontálních řádků. Pokud místo mnoha řádků budeme kamerou snímat opakovaně jen jeden rádek, můžeme ze standardní video kamery udělat řádkovou kameru vysokorychlostní, která bude fungovat s běžným TV/video zařízením.*

V Evropě byla pro záznam a přenos TV a video signálů v 90. letech 20. století používána, a do značné míry stále je i nyní, tzv. CCIR/PAL norma, která využívá frekvenci 25 snímků za sekundu (na rozdíl od americké normy NTSC, která používá 30 snímků za sekundu). Každý CCIR/PAL video snímek používá 625 horizontálních řádků. Jednoduchým výpočtem lze zjistit počet přenesených obrazových řádků za sekundu:

$$625 \text{ řádků} * 25 \text{ snímků/s} = 15\,625 \text{ řádků/s}$$

Teoreticky je tedy možné využít CCIR/PAL normu pro přenos nejen standardního videa, ale i pro přenos vysokorychlostního jednořádkového videa s frekvencí 15 625 obrazových řádků za sekundu. Tento princip se stal základem nové video kamery, jejíž způsob snímání obrazu bylo možno (pomocí jednoduchého nožního pedálu) přepínat mezi standardním a jednořádkovým vysokorychlostním modem (Obr. 3). Název

„videokymografie“, který byl pro tuto metodu použit, byl inspirován ve světě nepříliš známou německou metodou snímání kmitů hlasivek pomocí fotokamery s pohyblivou šterbinovou závěrkou, která se nazývala „fotokymografie“ [194–203].



**Obr. 3.** Princip videokymografie (VKG). Jádrem první generace videokymografie se stala speciálně upravená CCD videokamera, která byla schopna pracovat dvěma různými způsoby: standardně a vysokorychlostně. Ve standardním modu se kamera chovala jako běžná videokamera, pracovala s frekvencí 25 snímků (50 prokládaných snímků) za sekundu (v souladu s CCIR/PAL televizní normou) a poskytovala známý pohled na hrtan a hlasivky (vlevo). Ve vysokorychlostním VKG modu byl zaznamenáván obraz pouze z jednoho vybraného řádku kamery, s frekvencí 7812.5 řádkových snímků za sekundu. Tyto snímky skládala kamera jeden po druhém za sebe a vytvářela z nich nový, videokymografický obraz znázorňující způsob kmitání vybrané části hlasivek (vpravo). Mezi standardním a VKG modem bylo možno okamžitě přepínat pomocí nožního pedálu. Standardní i VKG obraz bylo možno zaznamenávat na libovolný komerční videorekordér. (*Z publikace č. II* [28]).

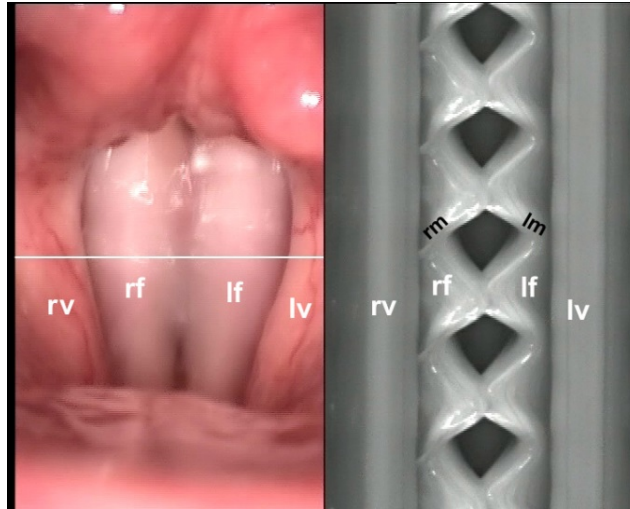
Při vývoji VKG kamery se frekvence 15 625 obrazových řádků za sekundu ukázala jako technicky problematická, a proto první generace této kamery využila frekvenci poloviční, tedy 7 812.5 obrazových řádků za sekundu. Tato frekvence byla stále dosti vysoká, aby umožnila sledovat hlasivky, které běžně kmitají v rozmezí 70 – 1000 Hz [204,205]. Aby byla dodržena video norma 15 625 řádků/s, byl kamerou mezi každé dva obrazové řádky ještě vložen černý řádek bez obrazové informace [32]. Čas během černého řádku kamera potřebovala pro čtení dat z řádku CCD sensoru a jeho reset pro sejmnutí dalšího snímku – proto také nebylo možné dosáhnout maximální teoretické rychlosti 15 625 snímků za sekundu.

VKG kamera firmy Lambert Instruments měla poměrně malou hmotnost (méně než 0.5 kg), bylo jí možno dobře připevnit na laryngoskop pomocí standardního optického adaptéru a fungovala s jakýmkoli standardním videomonitorem a videorekordérem (Obr. 4), což byla velmi významná skutečnost, která snižovala finanční náročnost této metody oproti jiným vysokorychlostním kamerám. To umožnilo poměrně snadnou aplikaci této kamery v klinické praxi i v českých nízkonákladových podmínkách.



**Obr. 4.** Vyšetřování VKG kamerou první generace. Vlevo F. Šram, vpravo J. Švec – snímek z roku 1997. (Z publikace [34]).

U první generace VKG kamery se mezi standardním a VKG modem přepínalo pomocí nožního pedálu – ve standardním modu se našlo požadované místo pro záznam kmitání hlasivek a přepnutím se aktivoval vysokorychlostní jednořádkový VKG obraz [32]. Druhá (současná) generace videokymografie, která byla vyvinuta roku 2006, eliminuje nutnost přepínání pomocí nožního pedálu a poskytuje oba obrazy, standardní i jednořádkový vysokorychlostní, současně v reálném čase [206] (Obr. 5). Dalšími technickými výhodami druhé generace VKG kamery je, že místo vkládání černého řádku se každý obrazový řádek kymogramu duplikuje, což zlepšuje kvalitu ukládání snímků při využití obrazové komprese dat, a že je zde eliminováno přerušení toku obrazových dat v intervalu mezi jednotlivými video snímky, což umožňuje získat kontinuální data v neomezených časových intervalech přesahujících dobu jednoho PAL snímku, tedy více než 40 ms [207]. Kamera je lehčí a menší než u první generace a stále je zachována norma PAL/CCIR (případně NTSC pro americký trh), takže obraz lze opět zaznamenat standardní videotechnikou a sledovat na běžném TV/video monitoru, což činí tuto metodu relativně finančně nenáročnou oproti klasickým vysokorychlostním videokamerám.



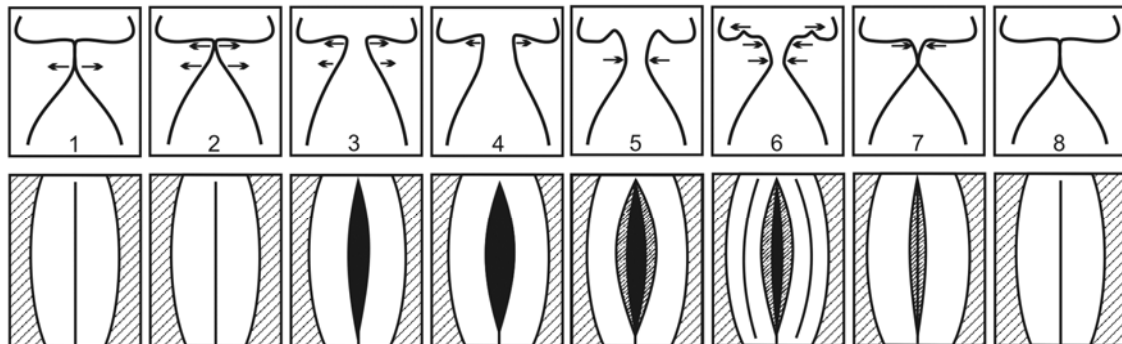
**Obr. 5.** Standardní videolaryngoskopický (vlevo) a vysokorychlostní VKG (vpravo) snímek hlasivek. Tyto video snímky jsou současně poskytovány VKG kamerou druhé generace. VKG snímek vpravo demonstruje normální chování hlasivek v čase (po dobu 40 ms, časová osa je svislá, běžící odshora dolů) v místě označeném čarou na levém snímku. Vyšetřovaná osoba byl muž 43 let, bez hlasových potíží. Použité symboly: rf/lf – pravá/levá hlasivka, rv/lv – pravá /levá ventrikulární řasa, rm/lm – pravá/levá slizniční vlna šířící se po horním povrchu hlasivky laterálně. (Z publikace [49]).

### 1.3. Interpretace kmitů hlasivek ve videokymografii (*publikace č. I a II*)

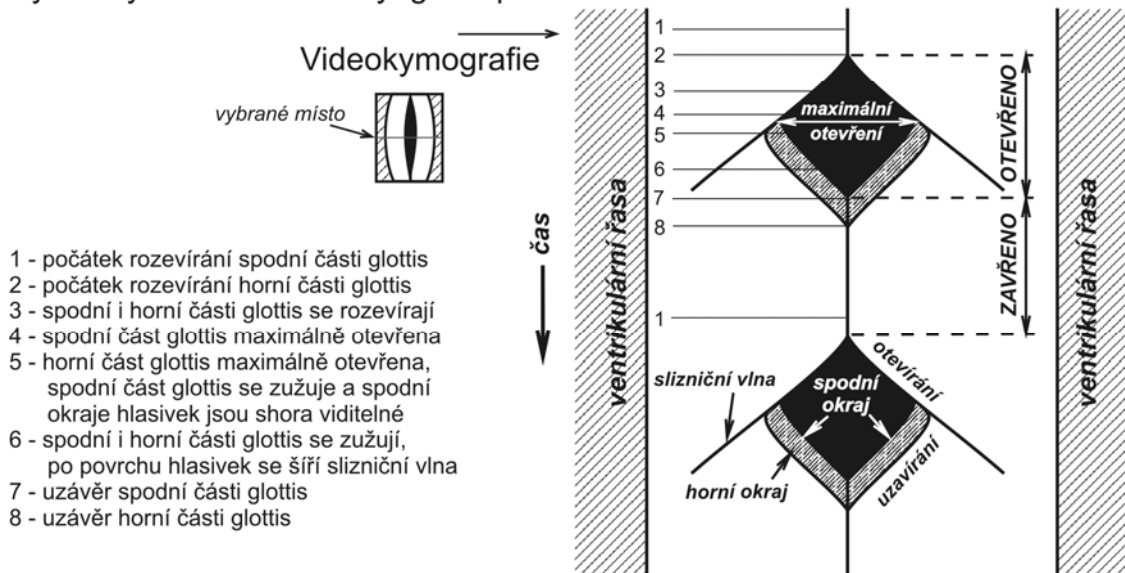
Kmitání hlasivek je značně komplexní děj, který nejlépe popisuje tzv. *myoelasticko-aerodynamická teorie* [108,208–210]. Hlasivky se rozkmitávají vlivem působení vzduchu proudícího z plic, který dodává hlasivkám energii [205,211]. Frekvence kmitání hlasivek je primárně určena rezonančními vlastnostmi hlasivek, podobně jako je tomu u strun hudebních nástrojů [50,205,212]. Na rozdíl od strun mají ale hlasivky nezanedbatelnou tloušťku a vykazují kmity složitější, s tím že horní část hlasivek je fázově opožděna za kmitáním dolní části hlasivek a po mediálním povrchu hlasivek se, odspodu nahoru po směru proudění vzduchu, šíří tzv. slizniční vlna. Ta po dosažení horního okraje hlasivek pokračuje v pohybu po horním povrchu hlasivek směrem do boku, laterálně (Obr. 6).

Videokymografické snímky poskytly novou alternativní možnost zobrazování kmitů hlasivek a slizničních vln. Ukázalo se však, že toto zobrazení není vždy snadno pochopitelné zejména pro lékaře zvyklé spíše na tradiční zobrazení tkání než na zobrazení vibrací těchto tkání. V tomto smyslu jsou intuitivně srozumitelnější videostroboskopie a vysokorychlostní videolaryngoskopie, které zobrazují klasickým způsobem známou strukturu hrtanu a na videu ukazují, jak se v rámci této anatomické struktury hlasivky postupně otevírají a zavírají v čase. Důležitým krokem pro osvětlení významu VKG záznamů pro laryngologii a foniatrii bylo proto ukázat, jak se vlastnosti kmitání hlasivek zobrazené v klasických videostroboskopických a vysokorychlostních videolaryngoskopických záznamech zobrazí ve VKG záznamech. Tyto základní rysy kmitů hlasivek znázorněných při VKG v porovnání vůči stroboskopii a vysokorychlostní laryngoskopii jsou schematicky znázorněny na obrázku č. 6, který přináší návod pro správnou interpretaci kymograficky zobrazených kmitů.

### Frontální řez hlasivkami během fonačního cyklu



### Vysokorychlostní videolaryngoskopie



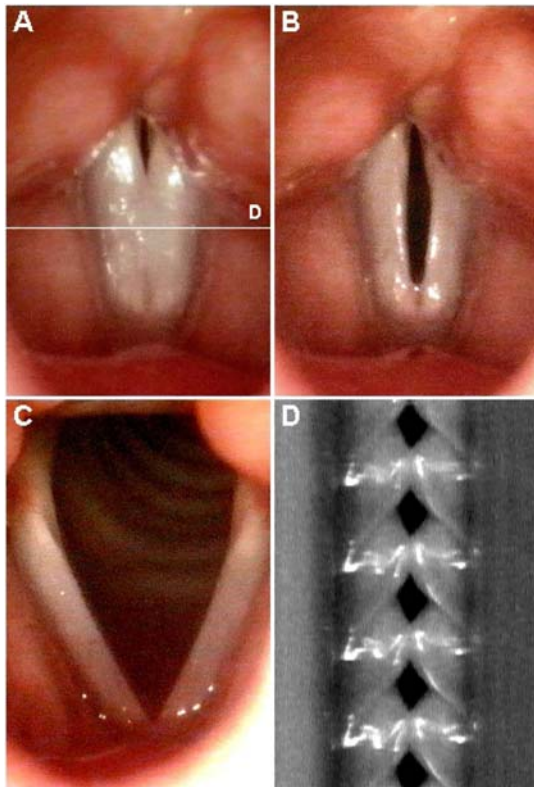
**Obr. 6.** Schematické znázornění charakteristických rysů normálních kmitů hlasivek v porovnání s vysokorychlostní videolaryngoskopií a videokymografií. (Z publikace č. II [28]).

### 1.4. Aplikace videokymografie v klinické praxi (publikace č. II)

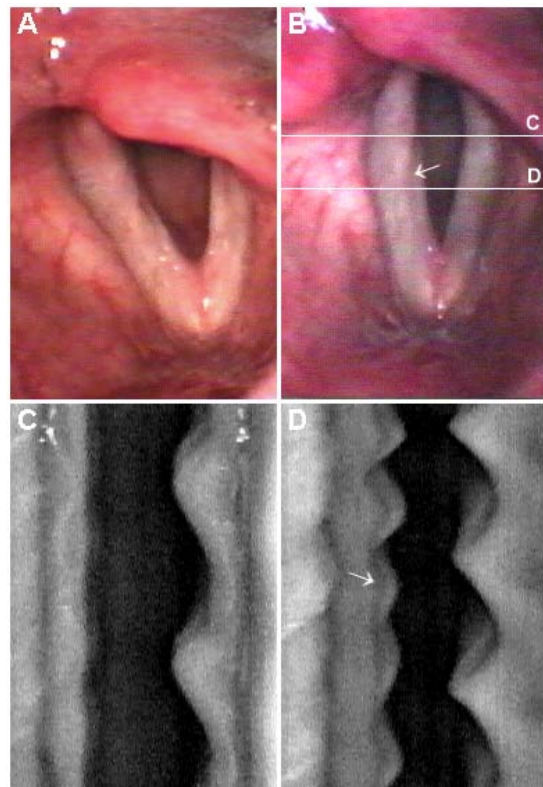
Kriticky důležitým faktorem pro rozvoj a uplatnění videokymografie bylo použití této metody v klinické praxi pro vyšetření pacientů s poruchami hlasu. Ukázalo se, že videokymografie je schopna detailně zachytit poruchy kmitání hlasivek, které nejsou dobře zobrazitelné standardní metodou, jako je videostroboskopie. První výsledky klinického vyšetření pomocí videokymografie byly publikovány v článcích [10,22–26,28–31].

V publikaci č. II z roku 1999 [28] byla videokymografie poprvé představena české laryngologické a foniatrické obci a demonstrovala příklady klinických nálezů u pacientů s poruchami hlasu, které byly jako první na světě získány v Praze v ordinaci Centra péče o nemocné s poruchami hlasu, řeči a vadami sluchu, Medical Healthcom s.r.o. doc. MUDr. F. Šrama, CSc. Publikace přináší příklady patologických nálezů a demonstruje

diagnostické možnosti kombinace stroboskopie s videokymografií. Aby bylo možno co nejdůležitěji dokumentovat klinický nález, bylo zde ukázáno, že lze s výhodou použít kombinaci následujících laryngoskopických, stroboskopických a VKG snímků (Obr. 7-9):



**Obr. 7.** Normální laryngoskopický, stroboskopický a VKG nález (žena, 20 let, studentka konzervatoře, mezzosoprán). Hlas zvučný, jasný, volně tvořený (A, B): Stroboskopický nález – (A): *Fáze maximálního závěru glottis při fonaci.* Čára znázorňuje místo vyšetření hlasivek odpovídající VKG snímku D. (B): *Fáze maximálního otevření glottis při fonaci.* (C): *Dýchání - laryngoskopický nález.* (D): *VKG snímek sejmутý uprostřed délky blanité části hlasivek (celkový zobrazený čas videokymogramu cca 18 ms).* (Z publikace [41]).

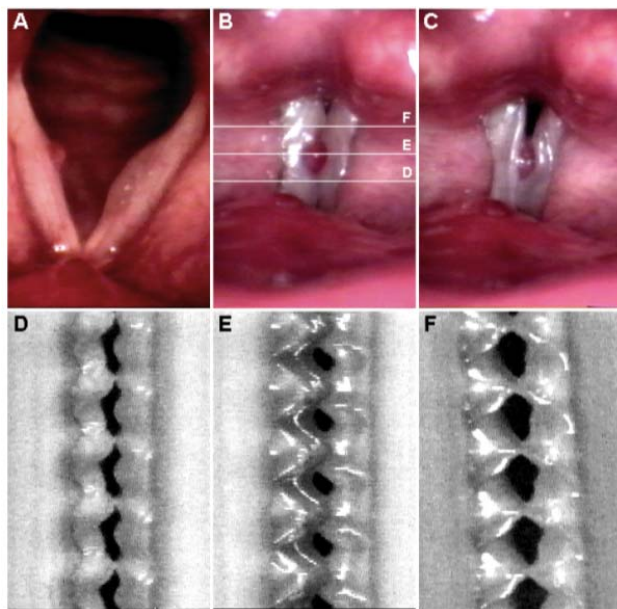


**Obr. 8.** Laryngoskopický, stroboskopický a VKG nález pacienta (muž, 70 let) s výraznou dyšností a chraptivostí. (A): *Dýchání.* Obě hlasivky jsou atrofické s naznačenými podélnými rýžkami, je synechie v přední části, levý arytenoidní hrbolek je sklopený ventro-mediálně přes střední čáru. (B): *Fáze maximálního závěru při fonaci,* ukazující patologickou širokou insuficiencí glottis. Šipka označuje rýhu na okraji pravé hlasivky laterálně ohraničující kmitající úzký slizniční lem. (C): *VKG snímek kmitů zadní části hlasivek* (pozice viz B). Kmitá pouze levá hlasivka s frekvencí cca 120 Hz, mezi hlasivkami zůstává široká štěrbina. (D): *VKG snímek kmitů střední části hlasivek* (pozice viz B, fonace odlišná od C). Zůstává zde patologická široká hlasová štěrbina, vpravo nepravidelně kmitá mediální lem, levá hlasivka kmitá na frekvenci cca 150 Hz, je vidět také náznak záchvěvů pravé ventrikulární řasy. Šipka označuje hranici vibrujícího slizničního lemu. (Celkový zobrazený čas VKG snímků C a D cca 18 ms, z publikace č. II [28]).

- Laryngoskopický pohled na hlasivky při dýchání
- Stroboskopický snímek (případně více snímků) demonstrující postavení a tvar hlasivek při fonaci (nejlépe ve fázi maximálního uzavření glottis, případně i ve fázi maximálního otevření glottis)
- VKG snímek (případně více snímků) demonstrující typický průběh kmitání hlasivek ve vybraném místě.

Pro správnou interpretaci VKG snímku je třeba vždy znát vybrané místo záznamu na hlasivkách, neboť kmity hlasivek se mohou výrazně měnit podél délky glottis [25,213] (viz Obr. 9 a také Obr. 16 a 17 v kapitole 1.10).

Dohromady tyto snímky vypovídají o organickém a funkčním postižení hlasivek a umožňují tak podrobnější diagnostiku poruch hlasu. Zatímco laryngoskopie a stroboskopie podávají informaci o tvaru hlasivek a hlasové štěrbině při dýchání a při fonaci a tím prozrazují strukturální poruchy tkáně hlasivek a možné hrubé funkční poruchy hrtanu (zejména schopnost addukce), VKG poskytuje doplňkové informace o schopnosti hlasivek a ostatních tkání hrtanu kmitat, což je kritické právě pro tvorbu hlasu. Pro diagnostické účely je proto v této a v dalších publikacích doporučeno použít VKG jako doplňkovou metodu klasické (video)laryngoskopie a (video)laryngostroboskopie [10,23,25,28,30,31,34].



**Obr. 9.** Pacient (žena, 46 let) s polypem pravé hlasivky a edémem levé hlasivky. (A) *Dýchání.* (B): *Fáze maximálního uzavření glottis při fonaci.* Čáry znázorňují místa vyšetření hlasivek odpovídající VKG snímkům D,E,F. (C): *Hlasivky při fonaci,* polyp se vkládá mezi hlasivky a tlačí na mediální okraj hlasivky levé. (D,E,F): *VKG snímky kmitů hlasivek získané při „skenovacím manévru“* (při prodloužené fonaci se záměrná pozice kamery posunuje od přední k zadní části hlasivek). (D): *Zřetelné „vlnky“* ve fázi otevření svědčí o výrazně porušených kmitech hlasivek v přední části glottis, je zde krátká fáze závěru (cca 15 % cyklu). (E): *VKG v místě polypu.* Je patrná prodloužená fáze závěru (cca 70 % cyklu) a zkrácená amplituda kmitů. (F): *Kmity hlasivek v zadní části glottis.* Fáze závěru krátká (cca 20 % cyklu), aberace kmitů („vlnky“) jsou patrné na levé hlasivce ve fázi otevření. (Celkový zobrazený čas u VKG snímků D,E,F cca 18 ms, z publikace [213]).

## 1.5. Variabilita kmitání zdravých hlasivek ve videokymografii (*publikace č. III*)

Předchozí studie ukázaly, že videokymografie umožňuje zachytit detaily kmitání hlasivek a poruchy kmitání u pacientů s poruchami hlasu. Pro odlišení patologických projevů kmitání hlasivek od normálních je však třeba vzít v úvahu i přirozenou variabilitu kmitů zdravých hlasivek. Nejdůležitějším faktorům, které ovlivňují individuální variabilitu VKG nálezu u zdravých hlasivek, se jako první věnuje *publikace č. III* [27] z roku 1999 a dále publikace [15,17–19,40,44,88]. Pro variabilitu kmitání je třeba uvažovat dva základní faktory – pozici VKG řádku a typ fonace:

### A) Pozice VKG řádku:

#### *A.1.) Pozice podél délky glottis:*

Tvar kmitů hlasivek se obecně liší v přední, prostřední a zadní části hlasivek. Jsou zde zejména rozdíly v amplitudě kmitů, která je zpravidla největší uprostřed a zmenšuje se směrem k přední a zadní komisuře. Také lze očekávat rozdíly v trvání různých fází cyklu (fáze otevření, otevírání, zavírání i uzavření), které vedou k rozdílným hodnotám koeficientů, například koeficientu otevření (OQ) či rychlostního koeficientu (SQ). Podrobné kvantitativní analýze změn parametrů kmitání hlasivek podél délky glottis je věnována *publikace č. VII* z roku 2013 [44] (viz dále). Pro zachycení nejtypičtějších rysů kmitání zdravých hlasivek je za nejvhodnější považována pozice uprostřed blanité části hlasivek, kde je za normálních podmínek očekávána největší amplituda kmitů.

#### *A.2) Šikmost VKG řádku vůči ose glottis:*

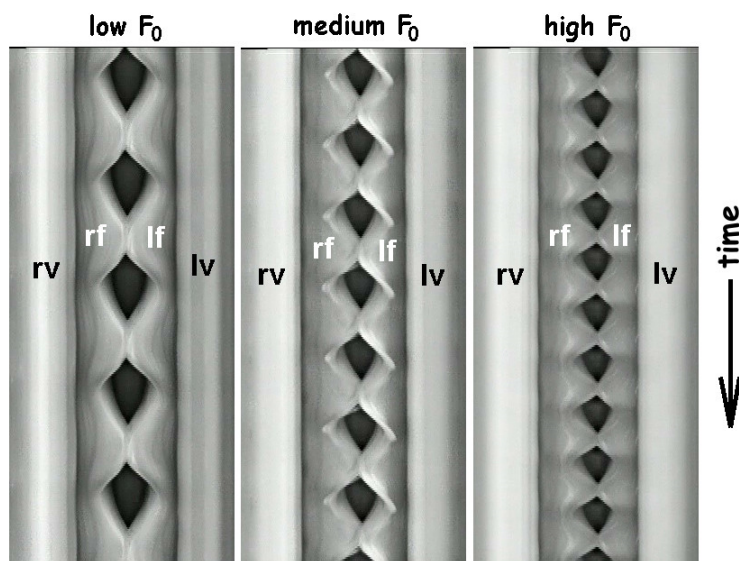
Osa glottis někdy bývá v laryngoskopickém obraze pootočena a hlasivky nesměřují dorso-ventrálně ale šikmo. Protože snímací řádek je u VKG kamery umístěn horizontálně, šikmost osy glottis může v tomto případě způsobit zdánlivou pravo-levou nesymetrii kmitů hlasivek ve VKG snímku, i když hlasivky kmitají vůči sobě symetricky. Pro zamezení takových artefaktů je třeba nastavit řádek VKG kamery kolmo na osu glottis. To lze udělat jednoduše pootočením hlavy kamery vůči laryngoskopu.

### B) Typ fonace:

#### *B.1) Změny výšky tónu (frekvence kmitání hlasivek, Obr. 10):*

Výška tónu se mění s frekvencí kmitání hlasivek. Frekvence kmitání hlasivek se mění zejména pomocí hrtanových svalů, které modifikují podélné napětí hlasivek. Podobně jako struna, více napjaté hlasivky kmitají s vyšší frekvencí a menší amplitudou a naopak [205]. Ve VKG snímcích se vyšší frekvence projevují zejména větším počtem zobrazených period; lze také sledovat zmenšení amplitudy kmitů (Obr.10). V případě snímků z druhé generace VKG kamery, které zobrazují 40 ms (1/25 s) záznamu, jsou u frekvence 100 Hz vidět 4 periody, u frekvence 200 Hz 8 period, u frekvence 300 Hz 12 period kmitů, atd.





**Obr. 10.** Změny VKG nálezu vlivem zvyšující se základní frekvence kmitání ( $F_0$ ) u zdravého muže. Je vidět zvyšující se počet zobrazených period kmitání v jednom VKG snímku (zleva doprava cca. 5, 7 ¼ a 10 cyklů, které odpovídají základním frekvencím cca. 125, 181 a 250 Hz) a zmenšující se amplituda kmitání. Kymogramy byly pořízeny kolmo na osu glottis ve středu blanité části hlasivek. Celkový zobrazený čas: 40 ms. Zkratky viz popiska k Obr. 5. (Z publikace [49]).

### *B.2) Změny intenzity hlasu (Obr. 11):*

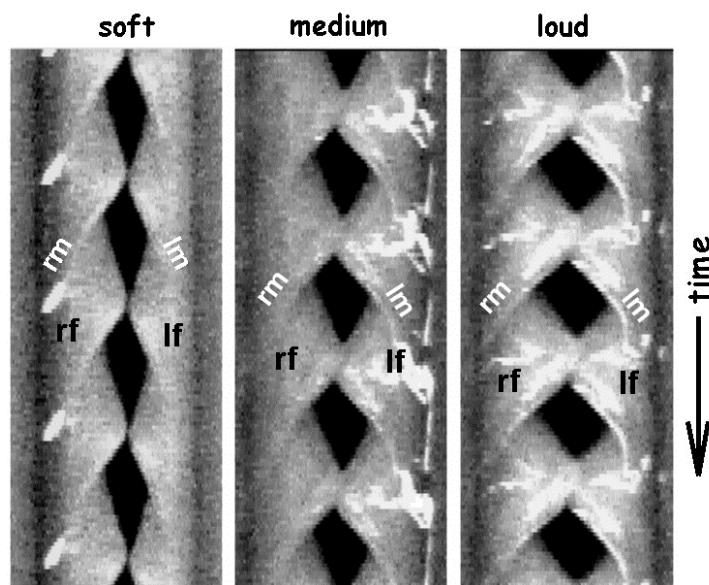
Zvýšení intenzity hlasu souvisí zejména se zvýšením tlaku vzduchu pod hlasivkami (tzv. subglotický tlak), což lze ovlivnit zejména zapojením dýchacích svalů a intenzivnější addukcí hlasivek [114,205,214,215]. Při zvýšení intenzity hlasu mají hlasivky tendenci k většímu rozkmitu a k prodlužování relativní doby závěru hlasivek během cyklu (Obr.11). Zároveň jsou ve VKG snímcích zřetelnější slizniční vlny šířící se po horním povrchu hlasivek laterálně.

### *B.3) Změny hlasového rejstříku a kvality hlasu (Obr. 12):*

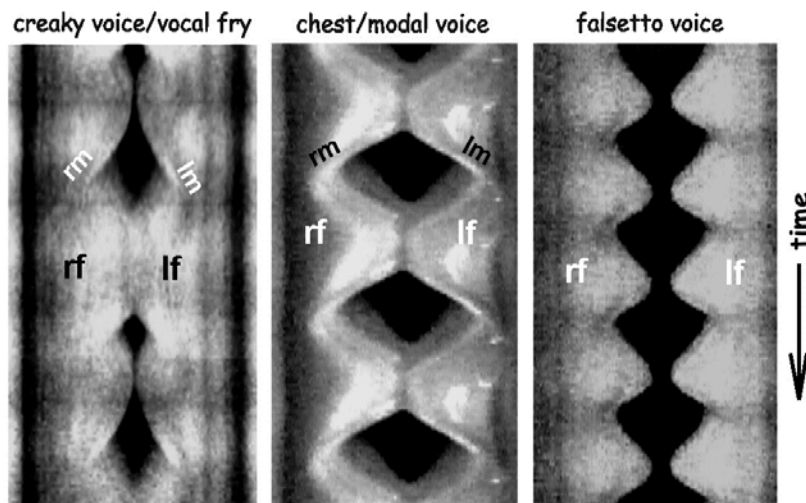
Kmity hlasivek jsou výrazně rozdílné při tvoření různých hlasových rejstříků a tyto rozdíly se zřetelně ukazují i ve VKG snímcích. Obrázek 12 ilustruje tuto rozdílnost na VKG snímcích stejné osoby produkující hlas ve třech různých hlasových rejstřících - ve skřípavém/třepeném rejstříku (creaky voice/vocal fry), hrudním (neboli modálním) rejstříku a hlavovém/falzetovém rejstříku. Navíc mohou zcela zdravé hlasivky za určitých okolností kmitat i nepravidelně [6,21,27,216,217], což bývá s výhodou využíváno např. v rockové, či etnické hudbě [218–225].

Z uvedeného vyplývá, že pro vyšetřování hlasu pomocí videokymografie je třeba vždy vědět nejen pozici, ze které byl kymogram obdržen, ale také typ fonace, která byla produkována. Pro co nejvýstižnější zaznamenání charakteristiky kmitů hlasivek se doporučuje nastavit pozici videokymografického řádku kamery v místě maximální amplitudy kmitů, tedy přibližně uprostřed délky hlasivek, kolmo na osu glottis [27,40,48,88,213]. Jako základní typ fonace je v klinické praxi vyšetřována zejména fonace v modálním rejstříku na pohodlné výšce a intenzitě tónu, ale pro podrobnější

vyšetření jsou doporučovány i změny frekvence a intenzity a u zpěváků mohou prozradit o možných problémech hlasu i vyšetření různých hlasových rejstříků (viz *publikace č. XX [105]*).



**Obr. 11.** Změny kmitání hlasivek vlivem zvyšující se intenzity hlasu u zdravého muže. Se zvyšující se intenzitou můžeme sledovat zvětšující se amplitudy kmitů, prodloužení trvání fáze závěru glottis a výraznější slizniční vlny šířící se laterálním směrem po horním povrchu hlasivek. Kymogramy byly pořízeny kolmo na osu glottis ve středu blanité části hlasivek. Celkový zobrazený čas: 18.4 ms. Zkratky viz popiska k Obr. 5. (Z publikace [49]).



**Obr. 12.** Kmity hlasivek v různých hlasových rejstřících u zdravého muže. Skřípavý/třepený rejstřík (creaky/vocal fry) vykazuje opakování dvou různě velkých cyklů a menší amplitudu kmitání než typické kmity v hrudním/modálním rejstřiku (chest/modal register). Falzetový/hlavový rejstřík (falsetto voice) vykazuje chybějící uzávěr glottis, kulatější laterální vrcholy kmitů a redukované slizniční vlny. Ve všech případech jsou kmity pravo-levě symetrické. Kymogramy byly sejmuty kolmo na osu glottis ve středu blanité části hlasivek. Celkový zobrazený čas: 18.4 ms. Zkratky viz popiska k Obr. 5. (Z publikace [49]).

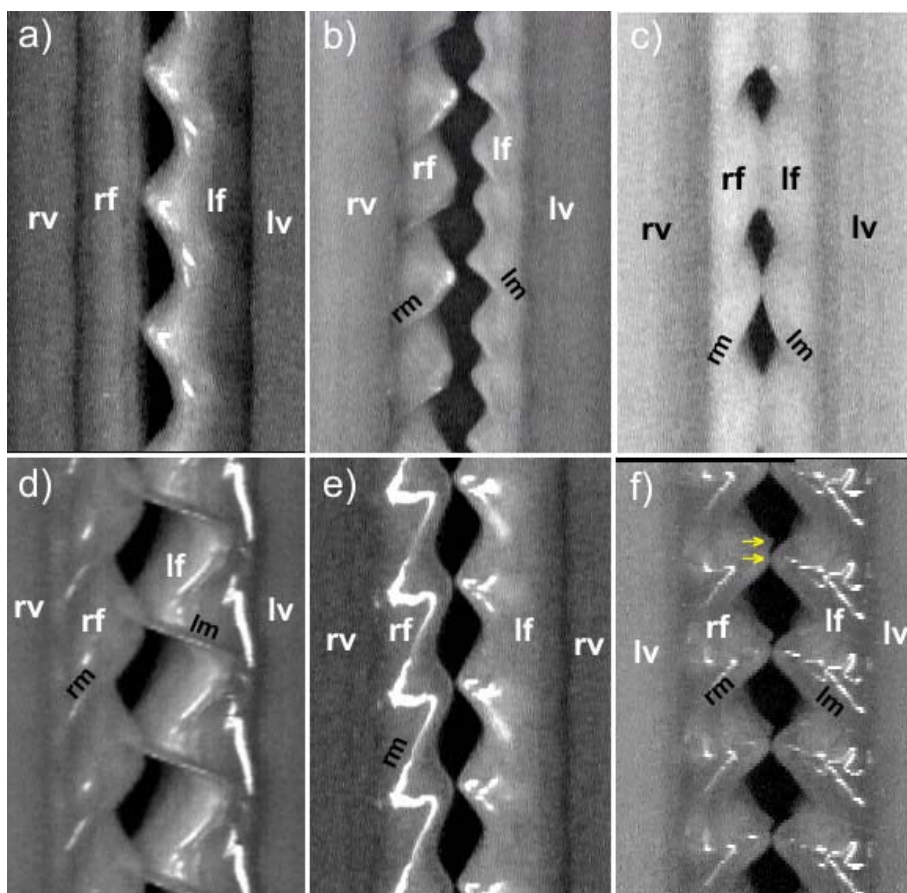
## 1.6. Kategorizace rysů kmitání hlasivek u poruch hlasu (*publikace č. IV*)

VKG vyšetření pacientů s poruchami hlasu prozradila, že různé poruchy hlasu se projevují ve videokymografii různým tvarem kmitů hlasivek. Zjednodušeně lze říci, že *poruchy hlasu jsou zejména poruchami kmitů hlasivek* (Obr. 13). S přibývajícím počtem klinických vyšetření bylo možno začít podle VKG nálezů systematicky rozeznávat různé typy těchto poruch, které se vyskytovaly opakovaně.

Na základě těchto nálezů byla provedena vizuální klasifikace různých typů poruch kmitání hlasivek, která byla poprvé uveřejněna v *publikaci č. IV* z roku 2007 [38]. Pro účely této publikace bylo z celkového počtu více než 7000 klinických VKG záznamů pacientů vybráno 45 pacientů. Z jejich záznamů bylo extrahováno a digitalizováno 100 VKG snímků, které zachycovaly co největší variabilitu kmitání hlasivek během prodloužených fonací (tj. při prodlouženém vyslovení hlásky [i:] nebo [e:], která je používána při vyšetření rigidním laryngoskopem). Vizuálně byly ze snímků identifikovány nejvýznamnější rysy, které od sebe odlišovaly kmity hlasivek u různých záznamů. Tyto rysy byly rozděleny do deseti kategorií, které zahrnují jak děje známé ze strobolarýngoskopie, tak i další charakteristiky, které jsou při strobolarýngoskopii skryty, nebo je obtížné je rozpoznat:

- 1) Přítomnost či nepřítomnost kmitání hlasivek
- 2) Interference hlasivek s okolními tkáněmi
- 3) Variabilita period kmitů
- 4) Trvání fáze závěru hlasivek
- 5) Pravo-levá nesymetrie kmitů hlasivek
- 6) Tvar laterálních vrcholů v průběhu kmitů hlasivek
- 7) Laterálně se šířící slizniční vlny
- 8) Poměr doby otevírání versus doby uzavírání hlasivek
- 9) Tvar mediálních vrcholů v průběhu kmitů hlasivek
- 10) Aberace kmitů hlasivek

Sledování rysů kmitání hlasivek v rámci těchto deseti kategorií umožňuje rozpoznat různé biomechanické příčiny poruch kmitání hlasivek. Pro diagnostické účely je však třeba vědět souvislosti mezi kmitavým projevem hlasivek, který je výsledkem projevu biomechanických vlastností hlasivek buzených aerodynamickými silami, a vlastnostmi biologických tkání, které jsou ovlivňovány fyziologickými a patologickými procesy organismu. To je velice komplexní problém a je zřejmé, že je pro nalezení těchto souvislostí je třeba zkombinovat fyzikální, biologické i medicínské informace. Možné souvislosti mezi různými kmitavými projevy a poškozením tkání hlasivek byly popsány v *publikaci č. IV* [38] a dále rozvedeny a aplikovány v dalších publikacích autora a jeho spolupracovníků [46,49,88]. Ty nejdůležitější jsou (Obr. 13):



**Obr. 13.** Různé typy poruch kmitání hlasivek zobrazené ve VKG snímcích. Celkový zobrazený čas: 18.4 ms (odshora dolů). (a-f) viz vysvětlivky v textu. Zkratky viz popiska k Obr. 5. (Z publikace [49]).

*Zcela chybějící kmitání hlasivky* (Obr. 13a-f) – velmi závažný nálezn svědčící o přílišné tuhosti hlasivky, který může vzniknout např. vlivem tumoru, či zjizvení.

*Chybějící uzavěr glottis* (Obr. 8, 13b) – pokud se vyskytuje v místě maximální amplitudy kmitání na přirozené hlasitosti a výšce tónu, tak indikuje závažný problém s addukcí hlasivek. Tento nálezn je typický pro hlasy s vysokou dyšností. Pro velmi vysoké tóny či záměrně dyšné hlasy je tento nálezn fyziologický.

*Velká variabilita kmitů* hlasivek (Obr. 13b,c) – je typická pro velmi nepravidelné, chraptivé hlasy a může vzniknout jako důsledek např. pravo-levé (pro nesymetrické VKG nálezy, viz Obr. 13b) či předozadní (pro symetrické VKG nálezy, viz Obr. 13c) strukturální nesymetrie hlasivek, nebo vlivem příliš malého napětí hlasivek.

*Velké pravo-levé rozdíly amplitud kmitání hlasivek* (Obr. 8c,d) – indikují velké strukturální rozdíly mezi pravou a levou hlasivkou. Tyto mohou být důsledkem jednostranné patologie hrtanu, jako např. jednostranné poruchy inervace hrtanu, či patologického procesu ovlivňujícího tkáň hrtanu nesymetricky (např. zjizvení, poranění, léze,...).

*Pravo-levé rozdíly frekvence kmitů hlasivek* (Obr. 13b) – jsou pozorovány zejména u osob s výrazně rozdílným napětím pravé a levé hlasivky a chybějícím uzavěrem glottis. Tento nálezn se zpravidla objevuje u pacientů s tzv. bifonií či diplofonií hlasu.

*Velké pravo-levé fázové rozdíly kmitů* (Obr. 13d) – jsou znakem pravo-levé asymetrie napětí či hmoty hlasivek. Tento nálezn lze pozorovat např. u osob s jednostrannou

poruchou inervace hrtanu a dobrým uzávěrem glottis (např. po medializaci hlasivky), ale mohou být pozorovány také u zpěváků trpících hlasovými problémy a svalovou dysbalancí. Poslechově může hlas znít normálně, ale nesymetrie může limitovat použitelný hlasový rozsah.

*Posun osy glottis během závěru* (Obr. 13d) – je dalším indikátorem pravo-levé nesymetrie hlasivek a také rozdílu v nivěu hlasivek.

*Zakulacení laterálních vrcholů kmitů hlasivek* (Obr. 13a,e) – indikuje redukované vertikální fázové rozdíly mezi horním a dolním okrajem hlasivky, což může být důsledkem nadměrné tuhosti sliznice na mediálním povrchu hlasivky, např. vlivem zánětu.

*Chybějící či redukovaná slizniční vlna na horním povrchu hlasivky* (Obr. 13a-lf, Obr. 13e-lf) – ukazuje na nadměrnou tuhost sliznice na horním povrchu hlasivek, většinou vlivem zánětu či zjizvení sliznice.

*Ostré mediální vrcholy kmitů hlasivek* (Obr. 8d) – indikují nepřiměřeně ztenčený okraj hlasivky. Jsou pozorovatelné v případech chybějícího uzávěru glottis.

*Vlnky (aberrace kmitů hlasivek)* (Obr. 9d,f) – indikují porušené kmity a nestability kmitání hlasivek, kdy má hlas tendenci přeskakovat mezi více frekvencemi. Často se vyskytují v případech lokalizovaných lézí (uzlík, cysta, polyp), které interferují s kmity hlasivek.

*Zdvojený mediální vrchol kmitů hlasivek (aberrace)* (Obr. 13f, rf-dvojitá šipka) – nejčastěji indikuje sulcus, či podélnou rýžku na mediálním povrchu hlasivky, což jsou strukturální vady hrtanu.




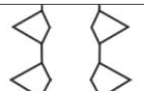



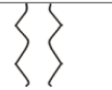
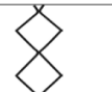
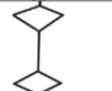
*Kmitání okolních tkání hrtanu (např. ventrikulárních či aryepiglotických řas)* (Obr. 8d) – vyskytuje se u hyperkinetických poruch či při snaze pacienta o kompenzaci insuficience glottis. Někdy se využívá záměrně pro speciální hlasové efekty, např. u rockového či tibetského zpěvu [219,220,224,226].

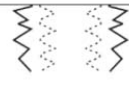

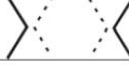


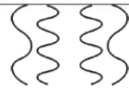



*Kmity tekutin na hlasivkách* – jsou známkou přílišného množství tekutin či slizničního hlenu, které narušují kmitání hlasivek a způsobují chraptivou příměs. Může to být důsledkem zánětu hlasivek.

Výše definované charakteristiky kmitání hlasivek umožňují lepší rozpoznání různých příčin hlasových poruch a otevírají nové možnosti pro objektivní dokumentaci a monitorování chování hlasivek v klinické praxi a diagnostiku poruch hlasu pomocí metody videokymografie. V klinické praxi jsou tyto rysy hodnoceny zpravidla vizuálně. Pro vizuální hodnocení byl autorem vytvořen protokol, který využívá piktogramy jako vizuální pomůcky [36] (Obr. 14). Tento protokol byl využit v řadě studií, které stanovují intra-individuální a inter-individuální variabilitu hodnotitelů pro hodnocení VKG snímků [227–229] či používají vizuální hodnocení VKG snímků pro verifikaci automatické analýzy kmitů hlasivek [45,148,230]. Je také v plánu tyto rysy rozpoznat automaticky a kvantifikovat. Tato snaha vedla ke spolupráci autora s Ústavem teorie informace a automatizace AV ČR, kde byl pro tento účel vytvořen v rámci projektu TAČR software pro obrazovou analýzu VKG záznamů [230], který je v současnosti používán pro pilotní studie.

Datum hodnocení: \_\_\_\_\_

Jméno hodnotitele: \_\_\_\_\_

VKG rys (zakroužkujte nález)	Ne
	<input type="checkbox"/>
Chybějící kmitání hlasivek	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Zaoblené laterální vrcholy	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Chybějící posun hrany	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Velké rozdíly amplitud	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Výrazné fázové rozdíly	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Otevírání výrazně kratší než uzavírání	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Otevírání výrazně delší než uzavírání	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Chybějící uzávěr glottis	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Příliš krátký uzávěr glottis (CQ < 10%)	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Příliš dlouhý uzávěr glottis (CQ > 60%)	<input type="checkbox"/>

VKG rys (zakroužkujte nález)	Ne
	<input type="checkbox"/>
Nepravidelnosti kmitání	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Posun osy během závěru	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Zašpičatělé mediální vrcholy	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Zdvojené mediální vrcholy	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Vlnky	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Frekvenční rozdíly kmitů	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Vzdálený posun hrany	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Kmity ventrikulárních řas	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Hlen či tekutiny interferující s kmity hlasivek	<input type="checkbox"/>
DALŠÍ:	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>

Poznámky:

**Obr. 14.** Formulář vytvořený autorem pro vizuální hodnocení VKG nálezu v klinické praxi, který využívá piktogramy jako vizuální pomůcky. Tento formulář byl použit např. ve studii pro stanovení klinického významu videokymografie (publikace č. VIII [47]).

### 1.7. Klinické vyšetření hlasu pomocí videokymografie (*publikace č. V*)

*Publikace č. V* z roku 2011 [40] shrnuje patnáctileté zkušenosti autorů s videokymografií a přináší přehledný návod pro laryngology a foniatry jak provádět klinická vyšetření hlasu metodou videokymografie. Konkrétně publikace popisuje:

- Potřebné vybavení pro videokymografii
- Metodiku vyšetření
  - o Vložení laryngoskopu
  - o Nastavení pozice vyšetřovacího místa pro videokymografii
  - o Zaostření laryngoskopu při videokymografii
  - o Vyšetření prodloužených fonací
  - o Doplnková vyšetření dalších hrtanových aktivit
- Faktory, které mohou ovlivnit věrohodnost a platnost klinického hodnocení nálezů
- Normální nálezy
- Nálezy u poruch hlasu
- Vybrané kazuistiky

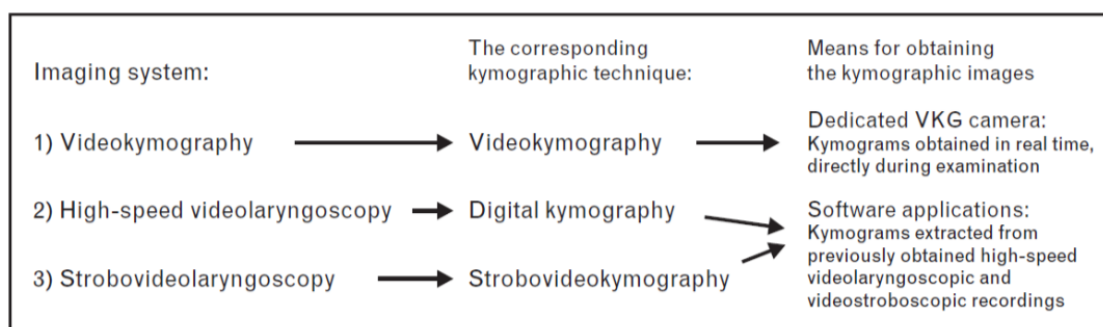
### 1.8. Normální nález ve videokymografii (*publikace č. V*)

Na základě rozboru variability kmitů hlasivek za stavů fyziologických i patologických byly v *publikaci č. V* [40] formulovány následující kritéria pro vizuální rozpoznání normálního fyziologického nálezu ve videokymografii. Fonace na pohodlné výšce tónu a pohodlné hlasitosti by ideálně měly vykazovat následující rysy kmitání hlasivek, které jsou dobře viditelné na VKG snímcích (viz Obr. 5, 6 a 7d) [27,40,46,48,49]:

- a) Obě hlasivky kmitají.
- b) Ventrikulární řasy nekmitají.
- c) Amplitudy kmitání obou hlasivek jsou přibližně stejné.
- d) Frekvence kmitání obou hlasivek jsou přibližně stejné.
- e) Kmity jsou pravidelné.
- f) Nejsou přítomny aberace kmitů.
- g) Hlasivky se během kmitů navzájem dotýkají v místě maximální amplitudy kmitání.
- h) Fáze závěru hlasivek je v rozmezí cca. 5-65 % trvání cyklu v místě maximální amplitudy kmitů (viz též *publikace č. VII* [44]).
- i) Tvar laterálních vrcholů kmitání (tj. změna z otevíracího na uzavírací pohyb hlasivek) je ostrý.
- j) Slizniční vlny se během kmitů šíří laterálně po horním povrchu hlasivek.
- k) Není přítomna výrazná fázová asymetrie kmitů hlasivek.

### 1.9. Další kymografické metody pro sledování kmitů hlasivek (*publikace č. VI*)

Vývoj videokymografie a její aplikace pro studium kmitů hlasivek inspiroval další autory ve světě k vývoji dalších kymografických softwarových metod, které se začaly používat pro znázornění kmitů hlasivek zaznamenaných pomocí videostroboskopie [231–234] a vysokorychlostní videolaryngoskopie [235–238]. Tyto kymografické metody se označují jako *strobvideokymografie (SVKG)* a *digitální vysokorychlostní videokymografie* (zkráceně *digitální kymografie, DKG*) [33,43,239] (Obr. 15). K rozšíření těchto kymografických metod přispěla jejich implementace do software pro zpracování vysokorychlostních videolaryngoskopických a videostroboskopických záznamů firem Kay Pentax (USA) [33,240], Wolf (Německo) [184], Xion (Německo) [241] a DiagNova (Polsko) [242,243]. Zásadním rozdílem těchto metod oproti videokymografii je, že softwarově zpracovávají videozáznamy (stroboskopické nebo vysokorychlostní) pořízené v minulosti, zatímco videokymografie pořizuje kymografické snímky v reálném čase. Výhody a nevýhody těchto kymografických metod a příklady jejich aplikací ve výzkumu hlasu byly shrnuty v přehledném článku z roku 2012 (*publikace č. VI* [43]). Tato publikace přehledně mapuje stávající situaci kymografického zobrazování hrtanových kmitů ve světě.



**Obr. 15.** Tři laryngoskopické systémy používané pro kymografická zobrazení kmitání hlasivek: videokymografie, digitální kymografie a strobvideokymografie (*z publikace č. VI* [43]).

*Publikace č. VI* přináší a objasňuje tyto klíčové informace ohledně kymografie:

- Kymografické snímky doplňují tradiční laryngoskopické snímky hrtanu – zatímco klasické snímky slouží pro objevení strukturních změn hrtanu, které vedou k poruše hlasu, kymografické snímky prozrazují přímo poruchy kmitání, které jsou původcem poruchy hlasu.
- Současný stav kymografického zobrazování hrtanu lze připodobnit stavu ve kterém bylo stroboskopické zobrazování hrtanu na relativním počátku jeho využívání v klinické praxi před zhruba 50 lety.
- V současné době jsou pro zobrazování kmitů hrtanu používány tři různé kymografické techniky - videokymografie (VKG), digitální vysokorychlostní kymografie (DKG) a strobvideokymografie (SVKG), přičemž každá z nich má své silné i slabé stránky.
- Technologie videokymografie a vysokorychlostního zobrazování hrtanu je významně napřed oproti současným znalostem dějů souvisejících s kmitáním hlasivek a tvorbou hlasu.



- Lepší pochopení dějů souvisejících s kmitáním hlasivek je možné pomocí spolupráce lékařů s odborníky přírodovědných a inženýrských směrů, což otevírá nové možnosti v diagnostice a potažmo i léčbě poruch hlasu.

#### **1.10. Kvantifikace parametrů kmitání zdravých hlasivek z vysokorychlostní videolaryngoskopie pro potřeby videokymografie – amplituda, koeficient otevření, koeficient rychlosti a jejich variabilita podél délky glottis (*publikace č. VII*)**

Zatímco automatické zpracování VKG záznamů pomocí metod analýzy obrazu je zatím v pilotní fázi, analýza obrazu a kvantifikace kmitání hlasivek z vysokorychlostní videolaryngoskopie je v pokročilejším stádiu. Tento stav je zejména díky tomu, že vysokorychlostní videolaryngoskopie poskytuje standardní strukturní snímky hrtanu, které jsou v podstatě totožné s klasickými laryngoskopickými a strobolaryngoskopickými snímky a na které lze aplikovat zavedené algoritmy obrazové analýzy, které jsou uzpůsobené pro rozpoznávání objektů a struktur (na rozdíl od videokymografie, která nezobrazuje struktury, ale pohyb a kmity a vyžaduje jiný přístup). Vysokorychlostní laryngoskopie je také ve světě více rozšířena a na vývoji metod obrazové analýzy vysokorychlostních videolaryngoskopických záznamů pracovala a pracuje řada výzkumných týmů ve světě [236,244–260].

Protože vysokorychlostní videolaryngoskopie umožňuje vytvářet digitální kymogramy (viz *publikace č. VI* [43] a [33,185,235,237–240,247,261,262]), analýza vysokorychlostních videozáznamů je velmi užitečná i pro potřeby videokymografie a digitální kymografie. Pro klinickou praxi je např. vhodné vědět, jak se kvantitativně mění charakteristiky kmitání hlasivek podél délky glottis, neboť bylo zdokumentováno, že v přední a zadní části hrtanu se hlasivky chovají jinak než uprostřed jejich délky [25,27,40,88]. Aby bylo možno provádět hodnocení poruch hlasu, je tedy potřeba vědět jaké charakteristiky kmitání hlasivek lze očekávat u zdravých osob v různých místech hlasivek.

Za tímto účelem byla autorem navázána spolupráce s významným výzkumným týmem, který působí na univerzitní ORL klinice v Erlangenu v Německu a který vyvinul software pro analýzu vysokorychlostních videolaryngoskopických záznamů kmitání hlasivek a verifikoval správnost jeho funkce [249]. Tento tým prováděl v letech 2010-12 vyšetřování zdravých osob pomocí vysokorychlostní videolaryngoskopie. Získaná data v Erlangenu představují významný zdroj základních informací o kmitání hlasivek u zdravých osob. Výsledky spolupráce s týmem v Erlangenu byly publikovány v *publikaci č. VII* z roku 2013 [44], která přináší základní kvantitativní informace o změnách charakteristik kmitání hlasivek od jejich přední k jejich zadní části.

V *publikaci č. VII* [44] byla provedena analýza a kvantifikace kmitů hlasivek u zdravých osob (30 mužů a 30 žen) během fonace na pohodlné výšce a hlasitosti hlasu z vysokorychlostních videozáznamů. Publikace popisuje a kvantifikuje, jak se mění tři základní charakteristiky kmitání hlasivek podél délky glottis:

- 1) *amplituda kmitání hlasivek*,
- 2) *koeficient otevření* (open quotient, OQ,  $Q_O$ ), který je definován jako [263–266]:

$$Q_O = t_{op}/T,$$

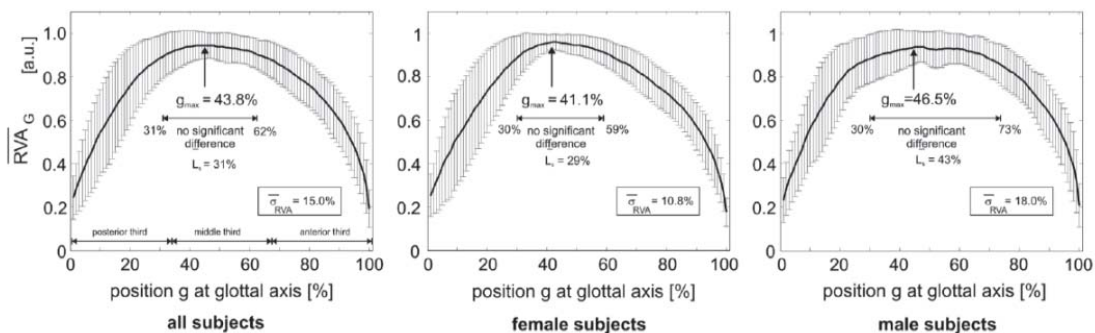
kde  $t_{op}$  je doba, po kterou je glottis na dané pozici otevřen (open phase, fáze otevření hlasivek) a  $T$  je perioda kmitů.

3) *koeficient rychlosti* (speed quotient, SQ,  $Q_s$ ), někdy též označovaný jako *koeficient šikmosti vlny* (skewing quotient), který je definován jako [264–266]:

$$Q_s = t_{og}/t_{cg},$$

kde  $t_{og}$  je doba, po kterou hlasivka v daném místě vykonává otevírací (laterální) pohyb a  $t_{cg}$  je doba, po kterou hlasivka v daném místě vykonává uzavírací (mediální) pohyb.

Pozice maximální amplitudy kmitání hlasivek byla zjištěna v průměru přibližně uprostřed viditelné délky glottis – na pozici 41.1 % ± 10.8 % u žen a 46.5 % ± 18.0 % viditelné délky glottis (Obr. 16). Podobně jako je tomu u kmitající struny, amplituda kmitů hlasivek klesala, čím více se pozice blížila k přednímu či zadnímu konci hlasivek.



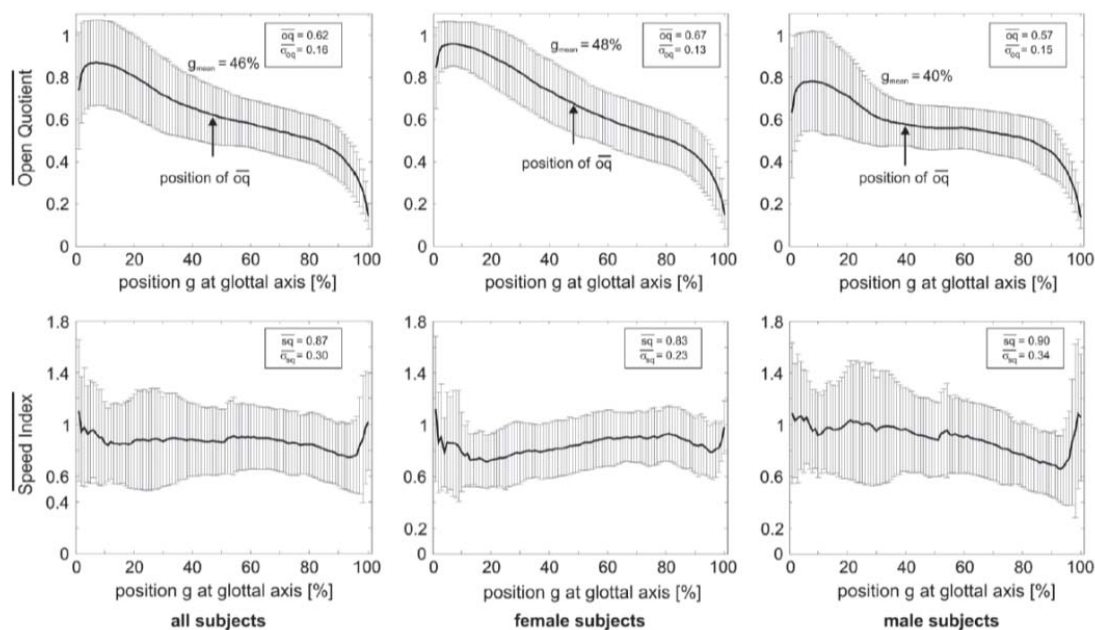
**Obr. 16.** Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky relativní amplitudy kmitů hlasivek podél délky glottis získané analýzou vysokorychlostních videozáznamů. Výsledky jsou uvedeny pro všech 60 zdravých osob (vlevo), 30 žen (uprostřed) a 30 mužů (vpravo). Pozice  $g$  podél délky glottis je značena od zadní komisyry (0 %) směrem k přední (100 %). (Z publikace č. VII [44]).

Průměrný koeficient otevření OQ klesal odzadu dopředu z 0.95 na 0.2 u žen a z 0.8 na 0.2 u mužů (Obr. 17, horní řádek), což znamená, že zdravé hlasivky mají trend mít kratší fázi závěru glottis v zadní části než v přední části. Průměrný rychlostní koeficient SQ se u mužů a žen významně nelišil a vykázal odzadu dopředu nemonotónní průběh s hodnotami mezi 0.7 a 1.1 (Obr. 17, spodní řádek). Tyto výsledky jasně indikují, že pro kvantifikaci kymografických kmitů hlasivek je třeba vždy brát v potaz místo záznamu.

Uprostřed délky hlasivek, která je často používána při videokymografickém vyšetření, lze u normálních hlasů očekávat hodnoty OQ  $0.66 \pm 0.14$  u žen (95 % konfidenční interval: 0.38-0.94) a  $0.56 \pm 0.10$  (95 % konfidenční interval: 0.36-0.76) u mužů. Tyto čísla prozrazují, že doba závěru glottis uprostřed hlasivek by měla u žen být alespoň 6 % trvání cyklu a u mužů alespoň 24 % cyklu.

V případě rychlostního koeficientu SQ jsou uprostřed hlasivek normální hodnoty  $0.85 \pm 0.21$  u žen (95 % konfidenční interval: 0.43-1.27) a  $0.88 \pm 0.28$  u mužů (95 % konfidenční interval: 0.32-1.44). Vizually to znamená, že doba otevírání je v průměru lehce kratší než doba uzavírání hlasivek. Za abnormální lze vizuálně přibližně považovat situace, kdy je u žen doba otevírání méně než poloviční oproti době uzavírání, či když je

doba otevírání více než o třetinu delší než doba uzavírání. U mužů lze vizuálně považovat za abnormální, když je doba otevírání méně než třetinová nebo více než o polovinu delší než doba uzavírání hlasivek. Tyto informace jsou užitečné pro rychlé vizuální rozpoznání abnormalit kmitání hlasivek v klinické praxi.



**Obr. 17.** Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky pro koeficient otevření OQ(g) (nahore) a rychlostní koeficient SQ(g) (dole) kmitů hlasivek podél délky glottis. Výsledky jsou uvedeny pro všech 60 zdravých osob (vlevo), 30 žen (uprostřed) a 30 mužů (vpravo). Pozice g podél délky glottis je značena od zadní komisury (0 %) směrem k přední (100 %). (Z publikace č. VII [44]).

### 1.11. Klinický přínos videokymografie (publikace č. VIII)

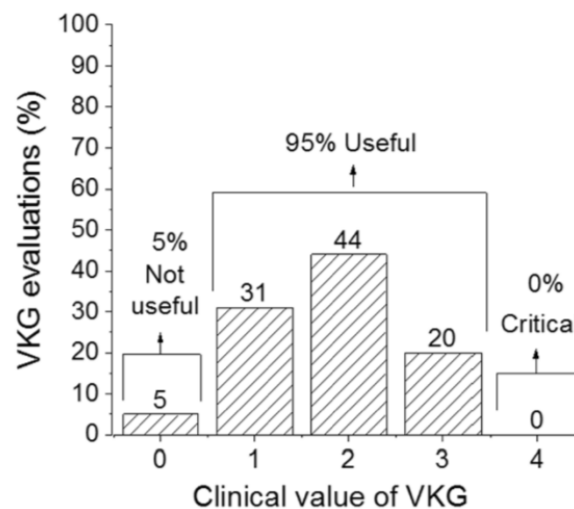
Předchozí studie ustanovily metodu videokymografii a obecně kymografické metody jako uznávaný nástroj pro sledování a hodnocení fyziologických a patologických kmitů hlasivek, zejména v oblasti základního výzkumu hlasu a aplikovaného výzkumu poruch hlasu. Doposud však žádná studie formálně nezkoumala, jaký je přínos videokymografie přímo v klinické praxi, a to jak pro diagnostiku poruch hlasu, tak i pro stanovení postupu léčby pacienta. Zatímco někteří lékaři ve světě používají VKG rutinně ve své praxi, většina laryngologů a foniatrů stále používá klasickou videostroboskopii a je s ní relativně spokojena. Cílem publikace č. VIII [47] proto bylo zjistit klinický význam VKG jakožto doplňkové metody k videostroboskopii. Studie si dala za úkol odpovědět na následující otázky:

- (1) Pomáhá VKG při stanovení diagnóz poruch hlasu?
- (2) Zlepšuje VKG jistotu diagnózy, která byla stanovena pomocí videostroboskopie?
- (3) Přispívá VKG ke stanovení postupu léčby pacienta?

Pro tento účel byl vyvinut speciální dotazník, který se skládal ze dvou částí: první část stanovovala diagnózu, její jistotu, a postup léčby pacienta na základě videostroboskopie. Druhá část sledovala, jak se tyto údaje změnily po VKG vyšetření a také zaznamenávala, který z videokymografických rysů kmitání hlasivek byl pro stanovení diagnózy a postupu léčby v jednotlivých případech důležitý.

Celkem bylo pro účely této studie vyšetřeno 105 pacientů s poruchami hlasu. Vyšetření prováděl laryngolog (Dr. Vydrová), který měl mnohaleté zkušenosti jak s videostroboskopií tak s videokymografií. Pacient vždy nejprve prodělal standardní otorinolaryngologické vyšetření včetně videostroboskopie, po kterém byla vyplněna první část dotazníku. Poté byl pacient vyšetřen videokymograficky a byla vyplněna druhá část dotazníku.

Výsledky ukázaly, že ve 31 % případů VKG potvrdila stroboskopickou diagnózu, ve 44 % případů VKG umožnila zpřesnění diagnózy a ve 20 % případů VKG ovlivnila způsob léčby (Obr. 18). V 5 % případů neměla VKG žádný diagnostický přínos. Jistota diagnózy se po VKG vyšetření zvýšila u 68 % pacientů. Nejčastěji označovanými užitečnými VKG rysy byly „ostrost laterálního vrcholu“ a „laterální šíření slizničních vln“ po povrchu hlasivky, které reflektují poddajnost hlasivek a potažmo zdravotní stav sliznice hlasivek. Na základě těchto rysů bylo např. rozhodováno, zdali zpěvák je schopen absolvovat koncert, či zdali pacient potřebuje léčbu. Získané výsledky ukazují, že VKG může pomoci lékařům učinit důležitá klinická rozhodnutí, a to zejména v případech, kdy je diagnóza na základě videostroboskopického vyšetření nejistá.



**Obr. 18.** Výsledky hodnocení klinického přínosu VKG vyšetření u 105 pacientů (0 = VKG neměla diagnostický přínos; 1 = VKG potvrdila původní diagnózu; 2 = VKG upřesnila diagnózu; 3 = VKG upřesnila diagnózu a vedla k úpravě navrhované léčby; 4 = VKG změnila původní diagnózu a navrhovanou léčbu). (Z publikace č. VIII [47]).

## Část 2: Dozimetrie a akcelerometrie hlasu

### 2.1. Měření hlasové zátěže - základy hlasové dozimetrie (*publikace č. IX-XI*)

Hlasoví profesionálové, a zejména učitelé, představují relativně velké množství pacientů v ORL a foniatrických ambulancích ve světě [2–4,267–273]. Povolání hlasového profesionála vyžaduje extenzivní používání hlasu a je předpokládáno, že přílišná hlasová zátěž může díky nadměrným kmitům hlasivky poškodit a způsobit tak některé typy poruch hlasu. Určení této hlasové zátěže však není jednoduché; aby bylo možno hlasovou zátěž specifikovat, je potřeba stanovit patřičný způsob jejího měření a mít pro toto měření potřebné vybavení.

Obory zabývající se např. měřením radiace či vlivem chemikálií na lidský organismus tradičně používají k měření celkové expozice lidského organismu těmto vlivům veličiny zvané "dávky". Pro řadu těchto dávek byly stanoveny bezpečnostní limity. Tato terminologie byla převzata i pro požívání hlasu a byly definovány tzv. "hlasové dávky" (angl. vocal doses). Základy hlasové dozimetrie byly popsány ve třech na sebe navazujících *publikacích č. IX-XI* z roku 2003.

### 2.2. Zavedení hlasových dávek a jejich definice (*publikace č. IX*)

*Publikace č. IX* [81] definuje pět různých hlasových dávek, z nichž dvě (dávky 1-2 specifikované níže) jsou převzaty z již existující literatury a tři další (dávky 3-5) jsou definovány nově. Konkrétně to jsou:

- 1) *Dávka časová (Time dose)* - měří celkový čistý čas, po který člověk produkoval hlas (tj. kdy jeho hlasivky kmitaly) za celkovou dobu měření. Z předchozích studií je tato dávka známa pod termínem „fonační čas“ (angl. phonation time), či pod anglickými termíny „voicing time“ nebo „voice accumulation time“ [274–280]. Její definice je:

$$D_t = \int_0^{t_m} k_v dt \text{ [s]},$$

kde  $t_m$  je celkový čas měření a  $k_v$  je funkce znělosti hlasu, která nabývá hodnot:

$$k_v = \begin{cases} 0 & \text{když hlasivky nekmitají} \\ 1 & \text{když hlasivky kmitají} \end{cases}$$

- 2) *Dávka cyklů (Cycle dose)* - specifikuje počet cyklů kmitání hlasivek uskutečněných za celkovou dobu měření. V předchozích studiích byla tato dávka označována jako „vocal loading index“ [281]. Je definována jako:

$$D_c = \int_0^{t_m} k_v f_o dt \text{ [počet cyklů]},$$

kde  $f_o$  je základní frekvence kmitání hlasivek;

- 3) *Dávka vzdálenosti (Distance dose)* - specifikuje vzdálenost, kterou hlasivky urazily v jejich kmitavém pohybu za celkovou dobu měření:

$$D_d = 4 \int_0^{t_m} k_V A f_o dt \quad [\text{m}],$$

kde  $A$  je amplituda kmitů hlasivek;

- 4) *Dávka rozptýlené energie (Energy dissipation dose)* – specifikuje množství tepla uvolněné do jednotkového objemu tkání hlasivek za celkovou dobu měření:

$$D_e = 1/2 \int_0^{t_m} k_V \eta (A/T)^2 \omega^2 dt \quad [\text{J/m}^3],$$

kde  $\eta$  je dynamická smyková viskozita tkáně hlasivek,  $T$  je vertikální tloušťka hlasivek a  $\omega = 2\pi f_o$  je úhlová frekvence hlasivek;

- 5) *Dávka vyzářené energie (Energy radiation dose)* – specifikuje množství akustické energie vyzářené z úst za celkovou dobu měření:

$$D_e = 4\pi R^2 \int_0^{t_m} k_V 10^{(L_{p@R}-120)/10} dt \quad [\text{J}],$$

kde  $L_{p@R}$  označuje hladinu akustického tlaku (SPL) měřenou ve vzdálenosti  $R$  od úst.

Aby bylo možno určit všechny tyto dávky ze tří základních měřitelných vlastností hlasu a řeči – ze znělosti hlasu  $k_V$ , základní frekvence ( $f_o$ ) a hladiny akustického tlaku (SPL) – byly pro tento účel využity akustické a biomechanické zákonitosti a dostupná experimentální data. Z nich byla odvozena empirická pravidla pro amplitudu kmitání  $A$ , tloušťku hlasivek  $T$  a dynamickou smykovou viskozitu  $\eta$  hlasivek, která jsou dále specifikována v publikaci č. IX [81]. Schematické shrnutí postupu odvození všech potřebných parametrů řeči pro dozimetrii hlasu je ukázáno na Obr. 19.

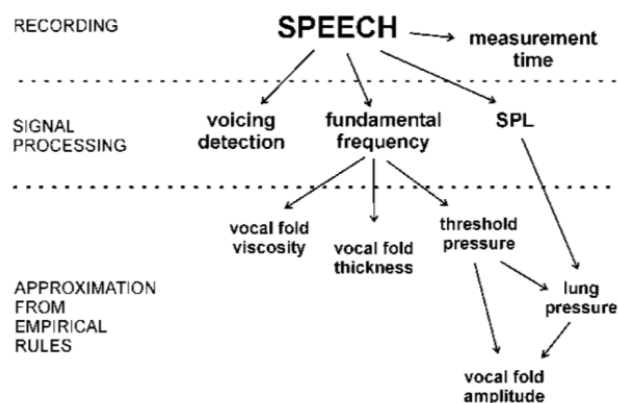
Pro prvotní otestování chování těchto dávek bylo změřeno šest osob, které četly stejný text třemi různými způsoby – normálně, monotónně a se zvýrazněnou intonací. Jak bylo předpokládáno, výsledky ukázaly, že se zvětšenou variabilitou  $f_o$  a SPL se nově definované dávky měnily.

Pro první odhad bezpečnostních kritérií používání hlasu byla změřená vibrační zátěž hlasivek porovnána s existujícími bezpečnostními limity pro kmitání přenášené do rukou u osob pracujících s vibrujícími nástroji – z nich byla odvozena bezpečná hranice pro dávku vzdálenosti v hodnotě přibližně 500 m. Tato hranice se ukázala velmi nízká pro zátěž hlasu, neboť odpovídala dávce kolem 17 minut čistého fonačního času, což odpovídalo přibližně době 35 minut souvislého čtení textu se znělými a neznělými hláskami a s běžnými nádechovými pauzami. Vzhledem k tomu, že hlasivky jsou lépe uzpůsobeny kmitům než tkáň rukou, dá se předpokládat, že hranice pro bezpečnou hlasovou zátěž je u hlasivek vyšší, tedy více než 500 m dávky vzdálenosti. Tuto hranici je

třeba přesněji stanovit v budoucnu na základě detailních znalostí rozdílů mezi morfologií tkáně rukou a hlasivek, jejich odezvy na vibrační zátěž a regenerace hlasivkových tkání během hlasových pauz. Pilotní data o distribuci fonačních pauz během řeči byla zjištěna v rámci publikace č. XIII z roku 2007 [86] a pilotní studii věnovanou regeneraci hlasivkových tkání během fonačních pauz publikovali Hunter a Titze v roce 2009 [282].

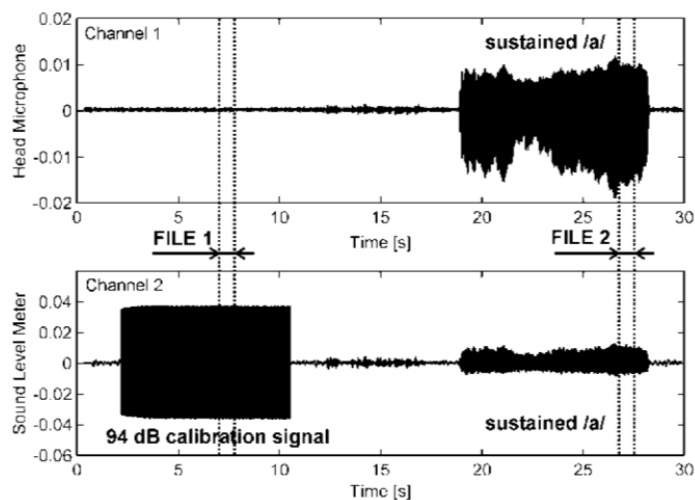
### 2.3. Experimentální metodika měření hlasové zátěže (publikace č. X)

Publikace č. X [79] navazuje na předchozí publikaci a podrobně osvětluje metodologii měření a algoritmy zpracování řečového signálu pro stanovení hlasových dávek ze záznamů (Obr. 19). V oblasti zpracování signálu jsou zde specifikovány způsoby stanovení tří základních parametrů hlasu: funkce znělosti hlasu (hlasová detekce, parametr  $k_v$ ), základní frekvence ( $f_o$ ) a hladiny akustického tlaku (SPL). Pro určení těchto parametrů jsou zde využity signály z hlavového mikrofonu a z elektroglotografu, které jsou simultánně zaznamenávány do jednotlivých kanálů audio souboru. Detekované hodnoty  $k_v$ ,  $f_o$  a SPL jsou použity pro stanovení pěti hlasových dávek definovaných v předchozím článku. Další informace včetně použitých Matlab skriptů byly zveřejněny v doprovodné publikaci [283].



Obr. 19. Schematické shrnutí postupu odvození parametrů řeči pro dozimetrii hlasu. (Z publikace č. X [79]).

Publikace č. X [79] také popisuje nově navrženou originální metodu kalibrace hlavového mikrofonu, tzv. dvoufázovou kalibraci (Obr. 20). Metoda využívá simultánní záznam signálu z hlavového mikrofonu a signálu z mikrofonu zvukoměru. V první fázi je zaznamenán pomocí zvukoměru kalibrační stabilní signál se známou hladinou akustického tlaku – ten je poté použit pro kalibraci signálu mikrofonu zvukoměru v nahrávce. V druhé fázi je vyslovena samohláska [a:], která je simultánně registrována hlavovým mikrofonem (umístěným blízko úst) i mikrofonem zvukoměru, který je umístěn ve standardní vzdálenosti 30 cm od úst. Signál z hlavového mikrofonu se zkalibruje tak, aby měl stejnou úroveň jako signál z mikrofonu zvukoměru. Tato metoda kalibrace byla s výhodou využita v dalších studiích [83,85,86,93,99,106,284].



**Obr. 20.** Procedura dvoufázové kalibrace pro měření hladiny akustického tlaku pomocí hlavového mikrofonu: zobrazení současně zaznamenaných signálů hlavového mikrofonu (nahore) a signálu mikrofonu zvukoměru (dole). Konstantní kalibrační tón (s hladinou akustického tlaku 94 dB SPL re 20  $\mu$ Pa) byl zaznamenán zvukoměrem a poté měřený subjekt vyslovil samohlásku [a:]. Jedna sekunda kalibračního zvuku byla vybrána a uložena do kalibračního souboru č. 1 (FILE 1). Tento soubor byl použit pro nastavení správné hladiny akustického tlaku signálů z mikrofonu zvukoměru. Nejstabilnější část samohlásky [a:] s délkou trvání 1 s byla vybrána a uložena do souboru č.2 (FILE 2). Tento soubor byl poté použit pro nastavení úrovně signálu hlavového mikrofonu, tak aby dávala stejnou hladinu akustického tlaku jako signál z mikrofonu zvukoměru. (Z publikace č. X [79])

## 2.4. Hlasový dozimetr pro celodenní měření hlasových dávek (publikace č. XI)

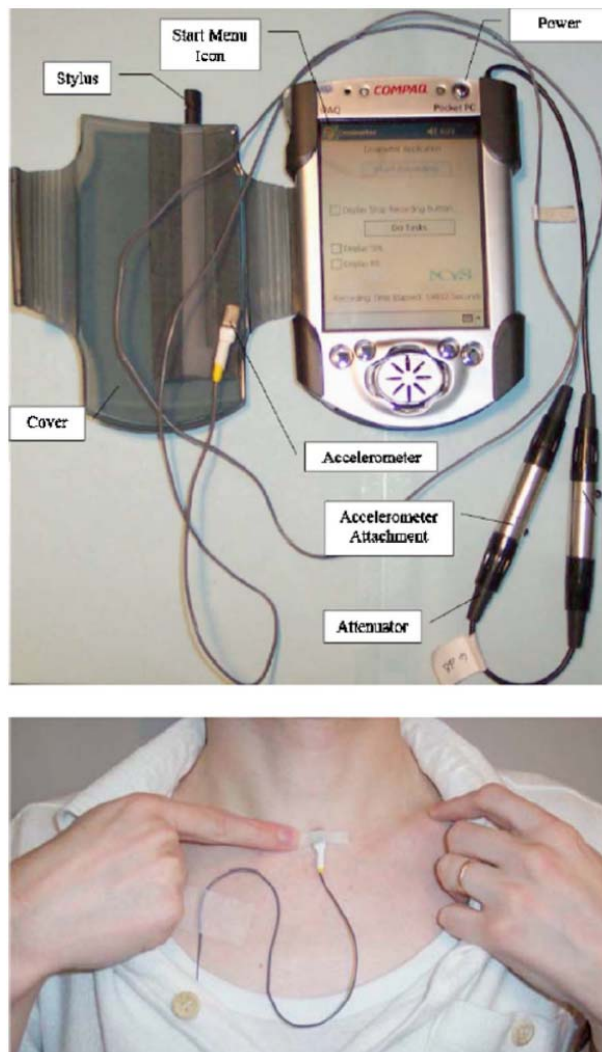
*Publikace XI* [80] představuje první měření pomocí nově vyvinutého hlasového dozimetru (NCVS Voice Dosimeter, viz Obr. 21) - přístroje pro měření celodenní hlasové zátěže. Stučně jsou zde popsány teoretické a praktické problémy spojené s jeho vývojem a použitím a jsou zde ukázány první výsledky celodenních měření. Jako hlasový detektor a senzor slouží akcelerometr, který je připevněn na krku člověka v oblasti důlku (tzv. jugular notch) pod hrtanem. Akcelerometr byl použit místo mikrofonu, neboť

- a) umožňuje detekci hlasu pouze vyšetřované osoby a
- b) z jeho signálu nelze rozpoznat jednotlivá slova, což znamená, že je méně náchylný k potenciálnímu zneužití důvěrných informací zaznamenané řeči.

Základ hlasového dozimetru tvoří kapesní PC (Pocket-PC), které zaznamenává základní frekvenci, hladinu vibrací tkáně krku (skin acceleration level, SAL) a frekvenci centroidu spektra hlasu každých 30 ms po celý den. SPL hlasu je odvozena z hodnoty SAL pomocí kalibrace (viz publikace č. XII dále). Během kalibrace je také určena prahová hodnota SAL hlasu pro nejtišší fonace, která je poté použita pro detekci hlasu vyšetřované osoby [83]. Pro ověření správné funkčnosti dozimetru jsou během dne prováděny testy na dostatečný odstup signálu hlasu od šumu, při kterých je osoba dozimetrem vyzvána, aby nahlas počítala od jedné do tří. Pro zjištění stavu hlasu dozimetr také po vyšetřované osobě vyžaduje během dne vždy po dvou hodinách provádět percepční testy na a) selhávání hlasu u tiché fonace [285], b) pocity hlasové



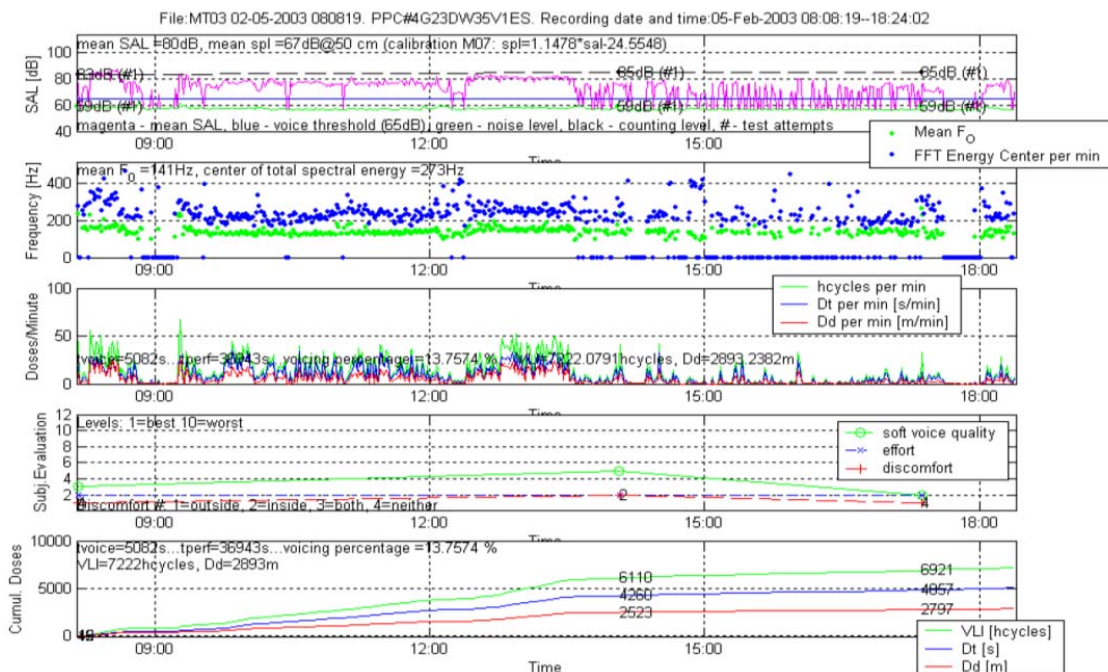
únavy a hlasového úsilí, a c) pocit nepohodlí v hrtanu. Výsledky těchto testů jsou také zaznamenávány do dozimetru [82]. Zaznamenaná data jsou po dokončení záznamu stažena z dozimetru do počítače a použita pro další analýzu a stanovení hlasových dávek.



**Obr. 21.** Nahoře: Vyvinutý hlasový dozimetr (NCVS Voice Dosimeter), skládající se z upraveného kapesního PC a akcelerometru. Dole: Akcelerometr, který je připevněn na krku pomocí hypo-alergenního lepidla. Kabel akcelerometru byl veden pod šatstvem k dozimetru, který byl umístěn v ledvince u pasu. (Z publikace č. XIII [86]).

Příklad zpracovaných dat z dozimetru je na Obr.22. Zpracovaný záznam představuje jedno z prvních celodenních měření testovací osoby (celkový čas záznamu cca 12 hodin) a ukazuje, že osoba mluvila 13 % celkového času. Časová dávka byla 5 082 s, hlasivky absolvovaly za tuto dobu 722 208 vibračních cyklů a urazily vzdálenost 2 893 m. Detaily přístroje a prováděných testů byly publikovány v dalších návazných publikacích [82–84,285,286]. Vyvinutý dozimetr byl v dalších letech použit např. pro zjištění, jak moc učitelé používají svůj hlas v pracovním a volném čase [86,287,288]. Rozsáhlejší měření provedená pomocí tohoto přístroje, ale i pomocí dalších hlasových

dozimetřů ukázala, že hlasivky běžně kmitají několik hodin čistého času denně, za den vykonají několik miliónů kmitů a urazí několikakilometrové vzdálenosti [277,279,280,289–304].

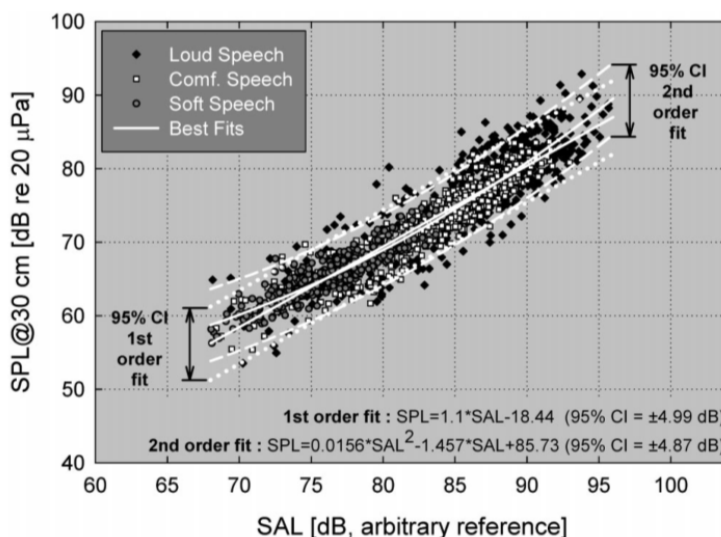


**Obř. 22.** Pilotní data získaná pomocí NCVS hlasového dozimetru během 12 hodin monitorování mužské osoby. Horní graf: průměrné hladiny akcelerace kůže na krku (SAL) za minutu (purpurová křivka), nastavená hladina prahu hlasu pro detekci fonace (modřá čára), hladina šumu během měření (zelená), hladiny SAL při testech počítání (přerušovaná černá). Druhý graf shora: průměrné hodnoty základní frekvence hlasu za minutu (zelená barva) a průměrný centroid spektra akcelerometru hlasu (modřá barva) za minutu. Třetí graf shora: Hlasové dávky za minutu. Dávka cyklů v hektocyklech/min (zelená), časová dávka v sekundách/min (modřá), dávka vzdálenosti v metrech/min (červená). Čtvřtý graf zeshora: výsledky percepčních testů - selhávání tiché fonace (zelená), hlasové úsilí (modřá) a nepohodlí v hrtanu (červená). Spodní graf: kumulace hlasových dávek během dne (čáry) a konečné hodnoty dávek (text). VLI = vocal loading index (dávka cyklů, v hektocyklech, zelená), Dt = time dose (časová dávka, v sekundách, modřá), Dd = distance dose (dávka vzdálenosti, v metrech, červená). (*Z publikace č. XI [86].*)

## 2.5. Odhad hladiny akustického tlaku (SPL) řeči člověka ze signálu akcelerometru na krku (*publikace č. XII*)

*Publikace č. XII [85]* z roku 2005 navazuje na předchozí články o hlasové dozimetrii a řeší otázku „Jak přesně lze odhadnout SPL hlasu pomocí akcelerometru umístěného na krku?“ Bylo změřeno 27 osob (10 mužů a 17 žen), které četly dva standardní texty (Rainbow passage, Marvin Williams passages) tichým, přirozeným a hlasitým hlasem. SPL hlasu byla snímána zvukoměrem 30 cm od úst a SAL (skin acceleration level) byla snímána pomocí akcelerometru upevněného na krku a vyhodnocována každých 30 ms. Výsledky ukázaly, že průměrnou SPL řeči lze odhadnout ze SAL krku v mezích  $\pm 2.8$  dB (95 % interval spolehlivosti) pokud je provedena individuální kalibrace každého subjektu. Pro tento účel lze využít lineární, či

kvadratickou funkci mezi SPL a SAL, kterou lze obdržet proložení kalibračních dat (Obr. 23). Za těchto podmínek lze akcelerometr použít pro měření SPL řeči, když je použití mikrofону nevhodné či problematické (např. v případě hlučného prostředí či při snaze skrýt informace o tématu řeči jako u dozimetrie hlasu). Pro stanovení okamžité hodnoty SPL je přesnost menší než pro střední hodnoty SPL (95 % interval spolehlivosti je zde  $\pm 6$  dB u mužů a  $\pm 5$  dB u žen – viz Obr. 23).



**Obr. 23.** Vztah mezi relativní hladinou akcelerace kůže na krku (SAL) a hladinou akustického tlaku (SPL) pro tiché (šedá), pohodlné (bílá) a hlasité čtení standardního úryvku anglického textu „Rainbow passage“ u ženy. Plné bílé čáry ukazují výsledky nejlepšího proložení dat křivkou prvního (lineární) a druhého řádu (kvadratická křivka). Tečkované a čárkované bílé křivky označují 95 % konfidenční interval pro lineární, respektive kvadratické proložení dat. (*Z publikace č. XII [85]*)

## 2.6. Měření rozprostření hlasové zátěže a hlasového odpočinku během pracovní doby a volného času učitelů (*publikace č. XIII*)

Hlasové dávky umožňují zjistit velikost hlasové zátěže nakumulované za určený čas, nicméně neposkytují informaci o tom, jak přesně je tato zátěž kumulována. Během řeči se běžně vyskytují fonační pauzy různých dob trvání – od krátkých pauz během neznělých souhlásek, přes pauzy během nádechu, pauzy při dialogu, až po pauzy způsobené nefonačními činnostmi. Tyto pauzy umožňují regeneraci tkání hlasivek, které jsou při fonaci namáhány, a proto je důležité je vzít v úvahu při studiu možných mechanismů vzniku a prevence poruch hlasu.

*Publikace č. XIII [86]* z roku 2007 přináší výsledky měření hlasové zátěže a distribuce fonací a fonačních pauz u učitelů, jejichž fonační aktivita byla monitorována pomocí NCVS hlasového dozimetru. Bylo měřeno 31 učitelů po dobu dvou týdnů (celodenní měření, v době nočního spánku bylo měření přerušeno). Doby trvání intervalů fonace byly seskupeny do logaritmických polodekád v rozmezí od 0.0316–0.10 s, pro nejkratší fonační intervaly, do 31.6–100 s pro nejdelší fonační intervaly.

Do stejných polodekád byly rozděleny i intervaly pauz mezi fonacemi, ale ty měly horní hranici 10 000 s (cca 167 minut).

U učitelů bylo v průměru zjištěno v pracovní době 1 800 výskytů fonací (tj. fonačních dějů s hlasovým začátkem a koncem) za hodinu, a během volného času 1 200 výskytů fonací za hodinu. Hlasivky kmitaly 23 % času během pracovních hodin, 13 % času mimo pracovní hodiny a 12 % času o víkendech. Největší akumulace fonací byla v intervalech s trváním 0.316-1.0 s, zatímco největší akumulace mezifonačních pauz byla v intervalech s trváním 3-10 s.

Tato data přináší první vhled do mechanismů hlasové zátěže a poskytují základní informace pro pochopení vzniku hlasové únavy vlivem fyziologických faktorů (např. svalová aktivita potřebná pro fonační děje způsobující svalovou únavu) a biomechanických faktorů (nárazy hlasivek do sebe při kmitání, které způsobují únavu materiálu biologických tkání hlasivek). Zároveň tato data poskytují vstupní informace pro studium odpočinku a regenerace fonačních svalů a biologické obnovy zatěžovaných tkání hlasivek [282,303,305].

## Část 3: Zlepšení reprodukovatelnosti měření a vyšetření hlasu

### 3.1. Výběr mikrofonu pro měření hlasu (*publikace č. XIV*)

Pro přesné měření hlasu a řeči je třeba použít mikrofon, který realisticky zachycuje zvuk hlasu a nemění jeho základní vlastnosti. Pro výběr mikrofonů pro hlasová měření však doposud nebyla dána jasná kritéria. Výrobci a prodejci zařízení pro analýzu hlasu tak běžně používají mikrofony určené spíše pro komerční než měřicí účely. *Publikace č. XIV* [92] z roku 2010 řeší tento nedostatek informací a na základě racionálních úvah specifikuje, jaké vlastnosti musí mít použité mikrofony, aby byl záznam hlasu dostatečně reprezentativní. Jsou zde vysvětleny a popsány základní technické vlastnosti mikrofonů, zejména frekvenční odezva, frekvenční a dynamický rozsah a směrová charakteristika. Na základě těchto informací jsou formulována následující obecná doporučení:

1. Hladina šumu (t.j. dolní hranice dynamického rozsahu) mikrofonu by měla být nejméně 15 dB<sup>1</sup> pod hladinou akustického tlaku (sound pressure level - SPL) nejnižších zaznamenávaných fonací. Totéž kritérium platí i pro hladinu hluku pozadí.
2. Horní hranice dynamického rozsahu mikrofonu (tj. hladina 3 % zkreslení – 3 % THD level) by měla být nejméně tak vysoko jako hladina akustického tlaku nejhlasitějších zaznamenávaných fonací.
3. Dolní hranice frekvenčního rozsahu mikrofonu by měla být níže než je nejnižší základní frekvence zaznamenávaných fonací.
4. Horní hranice frekvenčního rozsahu mikrofonu by měla být výše než je nejvyšší významná frekvence akustického spektra hlasu.
5. Frekvenční odezva mikrofonu mezi dolní a horní hranicí jeho frekvenčního rozsahu by měla být rovná (tj. s nerovnostmi menšími než 2 dB).
6. Směrové mikrofony by měly být použity pro měření SPL a spektra hlasu pouze v takové vzdálenosti od úst, při které mají rovnou frekvenční odezvu, aby se zamezilo tzv. proximity efektu. Tuto vzdálenost je třeba najít v technických specifikacích výrobce mikrofonu. Pokud tato vzdálenost není známa, takový mikrofon není vhodný pro měření SPL a spektra hlasu.

Uvedená doporučení zaručují, že základní frekvence ( $f_0$ ), spektrum a SPL hlasu nebudou zásadním způsobem ovlivněny v zaznamenaném zvuku hlasu. Tato doporučení jsou shrnuta v Tabulce 1, která také uvádí předběžné numerické hodnoty parametrů mikrofonů pro dvě vzdálenosti od úst (30 cm a 5 cm). Tato doporučení vyžadují ještě přesnější potvrzení numerických hodnot; nicméně poskytují základ pro zlepšení přesnosti a opakovatelnosti výsledků měření hlasu a řeči.

---

<sup>1</sup> Na základě podrobnější analýzy bylo v následující *publikaci č. XIII* toto doporučení zmírněno na 10 dB.

Tab. 1: Předběžná doporučení pro mikrofony určené pro měření hlasu a řeči. (Hodnoty původně použity v publikaci č. XIV jsou zde aktualizovány dle informací z publikace č. XV)

Mikrofonní specifikace	Doporučení	Extremní rozsah		Omezený rozsah	
		@ 30 cm	@ 5 cm <sup>a</sup>	@ 30 cm	@ 5 cm <sup>a</sup>
<b>Hladina šumu</b>	Alespoň 10 dB pod $L_p$ nejnižších fonací <sup>b</sup>	≤25 dB(A)	≤40 dB(A)	≤40 dB(A)	≤55 dB(A)
<b>Maximální <math>L_p</math> (3% THD)</b>	Nad $L_p$ nejhlasitějších fonací	≥130 dB	≥145 dB	≥120 dB	≥135 dB
<b><math>f_L</math>: Dolní mez frekv. rozsahu (-2 dB)</b>	Pod nejnižší frekvencí hlasu <sup>c</sup>	≤10 Hz	≤10 Hz	≤50 Hz	≤50 Hz
<b><math>f_U</math>: Horní mez frekv. rozsahu (-2 dB)</b>	Nad nejvyšší podstatnou frekvencí spektra hlasu	>16 kHz	>16 kHz	>8 kHz	>8 kHz
<b>Vyrovnanost odezvy mezi <math>f_L</math> and <math>f_U</math> (kromě zesílení nad 5 kHz)</b>	Co nejrovnější	≤ 2 dB	≤ 2 dB	≤ 2 dB	≤ 2 dB
<b>Maximální zesílení mezi 5 kHz and <math>f_U</math></b>	Žádné <sup>d</sup>	≤ 1 dB	≤ 3 dB	≤ 3 dB	≤ 5 dB

<sup>a</sup> Vhodnost vzdálenosti 5 cm od úst je třeba pro přesná měření hlasu verifikovat, neboť existuje nejistota ohledně vyzařování zvuku z úst kolem hlavy do stran.

<sup>b</sup> Pro přesné měření perturbací hlasu je vyžadován odstup signálu od šumu 30 dB [306,307]. Tento odstup platí pro aktuální měřenou fonaci.

<sup>c</sup> Metoda inverzní filtrace může vyžadovat, aby tato hranice byla pod  $1/10 f_o$  hlasu.

<sup>d</sup> Pro hlavové mikrofony připevněné na stranu od úst může být vhodné určité zesílení v oblasti nad 5 kHz, neboť vyzařování vysokých frekvencí je utlumeno do stran od úst [308–311]. Protože zde nejsou k dispozici žádné normativy, pro měření, u kterých jsou frekvence nad 5 kHz kritické, je prozatím doporučeno použít mikrofon umístěný 30 cm před ústy.

$L_p$  = hladina akustického tlaku,  $f_o$  = základní frekvence hlasu,  $f_L$ ,  $f_U$  = dolní a horní mez frekvenčního rozsahu.

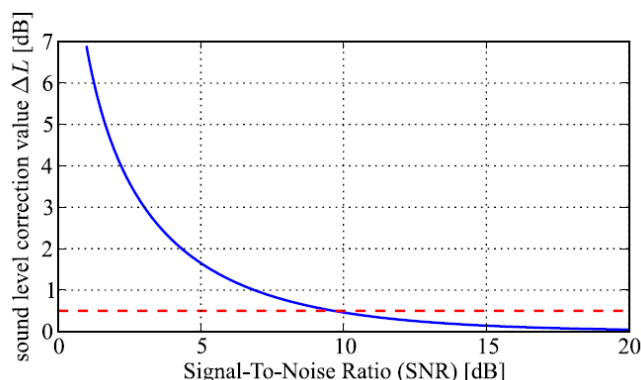
### 3.2. Přípustné hladiny hluku pozadí (publikace č. XV)

Publikace č. XV [99] z roku 2015 navazuje na publikaci č. XIV [92] a stanovuje maximální přípustné hladiny hluku pozadí při měření hlasu. Pro tento účel publikace studuje C-vážené a A-vážené hladiny akustického tlaku (SPL) nejnižších fonací, které je schopen člověk vytvořit. Přesná měření nejnižších fonací jsou technicky a metodologicky poměrně náročná a studium předchozí literatury prozradilo značné nesrovnalosti uvážených výsledků. Přitom znalost SPL nejnižších fonací člověka je potřebná pro specifikaci maximální přípustné hodnoty hluku pozadí, včetně šumu mikrofonu – dle doporučení z publikace č. XIV by pro měření nejnižších fonací měla být hladina hluku pozadí výrazně níže než nejnižší očekávané hodnoty SPL hlasu, jinak tento hluk přesnost měření negativně ovlivňuje.

Cílem této studie proto bylo (1) obdržet spolehlivé normativní SPL hodnoty pro prodloužené fonace samohlásky [a:] (tato hláska je rutinně používána při vyšetření nejnižších fonací v klinické praxi) na přirozené výšce tónu; (2) specifikovat minimální odstup signálu od šumu (signal-to-noise ratio, SNR) pro přesná měření SPL nejnižších fonací; a (3) upřesnit předchozí doporučení Unie evropských foniatrů (UEP) [312] ohledně povolených hodnot šumu a hluku pozadí pro účely měření a pro výrobce zařízení pro měření hlasu a řeči.

Osmdesát zdravých osob (40 žen, 40 mužů) bylo změřeno v tichých, akusticky upravených místnostech pomocí hlavového mikrofону a zvukoměru umístěného ve standardní vzdálenosti 30 cm od úst. Časově průměrované hodnoty SPL (určené jako ekvivalentní hladiny SPL v intervalu jedné sekundy) se ukázaly jako reprezentativnější než standardně rychle časově vážené hladiny SPL. Ve vzdálenosti 30 cm se hladiny nejnižších fonací pohybovaly v rozmezí 48-61 dB(C)/41-53 dB(A) pro ženy a 49-64 dB(C)/35-53 dB(A) pro muže (uvedeny jsou zde hodnoty odpovídající rozsahu od 5 % do 95 % kvantilu). Tato rozpětí mohou sloužit jako referenční hodnoty pro hodnocení normality hlasu.

Pro stanovení maximální přípustné hodnoty šumu, včetně hluku pozadí, byl odvozen teoretický vztah, který ukazuje velikost ovlivnění měřených SPL hlasu šumem. Z tohoto vztahu vyplývá, že při odstupu signálu od šumu (signal-to-noise ratio, SNR) menším než 10 dB je výsledná hladina SPL hlasu ovlivňována o více než 0.5 dB (Obr. 24). Minimální odstup od šumu 10 dB bývá používán jako kritérium pro přesná měření SPL v akustické praxi [313], proto se jeví vhodné používat toto kritérium i pro účely přesného měření SPL hlasu.

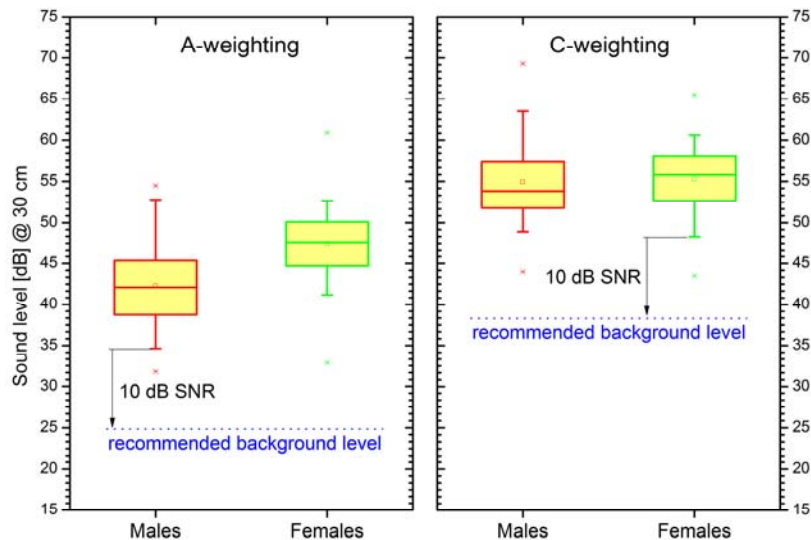


**Obr. 24.** Ovlivnění měření hladiny akustického tlaku hlasu vlivem šumu pozadí – teoretická závislost na odstupu signálu od šumu (SNR). Kritérium  $SNR > 10$  dB zajišťuje, že je měřená hodnota SPL ovlivněna méně než o 0.5 dB. (Z publikace XV [99]).

Kombinace kritéria 10 dB SNR se zjištěnými dolními hranicemi SPL nejnižších fonací člověka umožnilo numericky stanovit nová doporučení pro maximální hodnoty hluku pozadí. Tyto hodnoty jsou 38 dB(C) a 25 dB(A) pro měření hlasu ve vzdálenosti 30 cm od úst (Obr. 25). V porovnání s hodnotami doporučovanými Uníí evropských foniatrů (40 dB(A) [312]) jsou nová doporučení o 15 dB níže.

Vzhledem k běžným hladinám hluku v místnostech (tj. 40 dB a více) může být problémem vyhovět těmto nově formulovaným doporučením v běžných podmínkách. Jako praktickou alternativu lze proto využít hlavového mikrofónu upevněného ve vzdálenosti 5-10 cm od úst, kde je SPL hlasu o 10 – 15 dB vyšší než ve vzdálenosti

30 cm [106]. V tomto případě jsou pro přesná měření SPL hlasu dostačující hladiny hluku pozadí na úrovni 40 dB(A) a 53 dB(C). Tyto hladiny zahrnují hluk místnosti, šum mikrofonu a šum všech komponent záznamového zařízení.



**Obr. 25.** Statistické rozložení změřených A-vážených a C-vážených hladin akustického tlaku (časově průměrovaných v intervalu 1 s) nejtišších mužských a ženských fonací ve vzdálenosti 30 cm. Nově doporučené maximální přípustné hodnoty hluku pozadí byly stanoveny odečtením 10 dB odstupů signálu od šumu od 5 % percentilu distribuce nejtišších SPL hodnot pro muže či ženy. (Podle údajů z publikace XV [99]).

Nově doporučované hladiny hluku jsou stanoveny tak, aby umožňovaly měřit SPL hlasu včetně nejtišších fonací s přesností 0.5 dB u přibližně 95 % zdravé populace. Zároveň tyto hladiny hluku umožňují dostatečně velký odstup signálu od šumu pro přesná měření perturbací hlasu vyslovených s přirozenou hlasitostí [306,307]. V každém případě by hladiny hluku/šumu pozadí měly být měřeny a uvedeny (dohromady s informacemi o použitém frekvenčním a časovém vážení) společně se změřenými hodnotami SPL hlasu.

### 3.3. Měření hladin akustického tlaku (SPL) hlasu a řeči - základní informace a doporučení (publikace č. XVI)

Měření hladin akustického tlaku (SPL) hlasu a řeči bývá často považováno za triviální záležitost, ale naměřené hodnoty jsou často publikovány nesprávně či nekompletně, což omezuje jejich reprodukovatelnost a komplikuje jejich porovnání mezi různými studiemi. Cílem publikace č. XVI [106] z roku 2018 je vysvětlit základní principy měření SPL hlasu a řeči a formulovat doporučení pro zlepšení přesnosti a reprodukovatelnosti těchto měření. Publikace shrnuje základní informace z norem, technické hlasové a řečové literatury a praktických zkušeností autorů, a vysvětluje tyto



informace vědeckým pracovníkům netechnických oborů zabývajících se měřením hlasu a řeči. Specificky, publikace popisuje a vysvětluje:

- Souvislost SPL v decibelech (dB) s akustickým tlakem v paskalech (Pa)
- Souvislost SPL s vyzářeným akustickým výkonem hlasu ve wattech (W)
- Zákon vzdálenosti pro SPL
- Nepřesnosti měření SPL vlivem variability vzdálenosti mikrofonu od úst
- Zvukoměry, jejich přesnost a klasifikace
- Nastavení parametrů zvukoměru
- Frekvenční vážení zvuku (vážení A, C, a Z) pro hodnoty v dB(A), dB(C) a dB(Z)
- Vliv frekvenčního vážení na hodnoty SPL hlasu a na spektrum hlasu
- Časové vážení a průměrování SPL (pomalé a rychlé vážení, krátkodobé a dlouhodobé ekvivalentní hladiny, špičkové hladiny) a jejich vliv na hodnoty SPL hlasu a řeči
- Nestandardní měření SPL u dostupných softwarových programů
- Vliv automatické kontroly zesílení signálu (AGC, Automatic Gain Control)
- Hluk pozadí a odstup signálu od šumu (SNR, signal-to-noise ratio)
- Metody kalibrace SPL pro mikrofony umístěné na stojanu a mikrofony připevněné k hlavě
- Specifikace SPL pomocí symbolů

Na základě popsaných informací jsou v publikaci formulována následující doporučení pro obdržení dostatečně přesných a opakovatelných hodnot měření SPL hlasu a řeči, které umožňují zjistit vyzářený akustický výkon hlasu člověka:

1. SPL hlasu a řeči je třeba vždy doplnit informací o vzdálenosti mikrofonu od úst, ke které se tyto hodnoty vztahují (např. SPL@0.3 m).

2. Vzdálenost mikrofonu od úst je třeba udržovat konstantní během záznamu. Pro udržení nepřesností SPL měření pod  $\pm 1$  dB je třeba variabilitu této vzdálenosti udržet pod  $\pm 12$  %.

3. Pro mikrofony umístěné na stojanu a pro zvukoměry, které nelze přímo připevnit k hlavě vyšetřované osoby, je doporučeno použít standardní vzdálenost 30 cm od úst.

4. Pro mikrofony připevněné k hlavě vyšetřované osoby je doporučeno použít vzdálenost 4–10 cm pod úhlem  $45^{\circ}$ – $90^{\circ}$  na stranu od úst a udržovat tuto vzdálenost konstantní. Připevnění k hlavě a menší vzdálenost oproti stojanovým mikrofonům zajišťuje lepší odstup signálu od šumu v hlasových záznamech. SPL hladiny z těchto mikrofonů by měly být kalibrovány či přepočítány na „virtuální vzdálenost“ 30 cm, tak aby byly srovnatelné se SPL hladinami získanými ve standardní vzdálenosti 30 cm od úst.

5. V případě kdy SPL hodnoty byly přepočítány či kalibrovány na „virtuální vzdálenost“ (jinou než reálná vzdálenost během měření), je potřeba uvést příslušnou metodu a reálně použitou vzdálenost od úst.

6. Pro přesná měření SPL je doporučeno používat klasifikované zvukoměry či kalibrátory, které splňují platné normy. Neklasifikované zvukoměry nezaručují přesná měření SPL.

7. Zároveň s uváděnými hodnotami SPL je třeba vždy specifikovat použité frekvenční a časové vážení či průměrování. U frekvenčního vážení jsou preferovány Z- nebo C-vážené hodnoty oproti A-váženým hodnotám, pokud to dovolují hladiny hluku pozadí (viz též bod 12). U časového vážení je místo rychlého či pomalého vážení (tj. standardního vážení F a S) doporučeno pro jednoduchost používat dlouhodobě či krátkodobě časově průměrované (ekvivalentní) hladiny SPL kdykoli je to možné.

8. SPL hladiny získané pomocí počítačového softwaru, který je oddělen od zvukoměru, je třeba kalibrovat s použitím stejného nastavení frekvenčního vážení, jaké je nastaveno ve zvukoměru při kalibrační proceduře. Tento bod není podstatný, pokud je použit kalibrátor, který vydává čistý tón na frekvenci 1 kHz.

9. Metoda kalibrace použitého softwaru by měla být uvedena.

10. Pro indikaci toho, že kalibrace byla provedena, je doporučeno uvést za jednotkou dB příslušnou referenční hodnotu akustického tlaku, tj. dB re 20  $\mu$ Pa.

11. Kromě hladin SPL hlasu a řeči je třeba měřit a uvádět také hladiny hluku/šumu pozadí. Pro přesná měření hlasu a řeči by hladiny šumu pozadí měly být nejméně o 10 dB nižší než SPL hladiny nejnižších fonací (viz *publikace XV* [99]).

12. Je třeba se vyvarovat přebuzení signálů. Horní dynamické meze zvukoměru, mikrofону a ostatních použitých přístrojů by měly být nad SPL nejhlasitějších fonací (viz *publikace XIV* [92]).

13. Je třeba se vyvarovat automatické kontroly zesílení signálu (Automatic gain control, AGC).

14. Mikrofony a jejich příslušenství pro provádění měření je třeba pečlivě vybrat podle předchozích doporučení (viz *publikace XIV* [92]).

### **3.4. Doporučení k užívání symbolů pro označování harmonických frekvencí a formantů hlasu (*publikace č. XVII*)**

Matematicko-fyzikální popis jevů souvisejících s akustikou hlasu a řeči často využívá symbolů. Použití těchto symbolů je však nejednoznačné a někdy vede k nedorozuměním. Například pro označení základní frekvence se používají symboly  $F_0$ ,  $F_o$ ,  $f_0$ ,  $f_o$  či  $f$ , kde v dolním indexu je někdy číslo „0“, jindy písmeno „o“. Pro harmonické frekvence jsou používány symboly  $H_1$ ,  $H_2$ , ...  $H_n$ , nicméně tyto symboly jsou někdy používány pro frekvenci a někdy pro amplitudu harmonických složek hlasu. Nejasnosti panují také kolem rezonančních frekvencí vokálního traktu a formantů (lokálních vrcholů obálky spektra hlasu), které bývají často ztotožňovány a označovány stejným způsobem ( $F_1$ ,  $F_2$ , ...  $F_n$ ), což vytváří problémy např. u studií, které studují jak se rezonanční frekvence a formanty mohou od sebe lišit.

V *publikaci č. XVII* [100] z roku 2015 je shrnut výsledek diskuse 22 odborníků z USA, Evropy a Austrálie, který poskytuje doporučení pro jasnější symboliku parametrů používaných v akustice hlasu a řeči. Pro základní frekvenci je doporučeno používat symbol  $f_o$ , kde je v dolním indexu písmeno „o“ (symbolizující „oscilace“ hlasivek) místo čísla „0“, jehož význam je nejasný. Je použito malé „ $f$ “, aby se tato charakteristika hlasivek odlišila od formantů, které jsou historicky označovány velkým písmenem „ $F$ “ a které jsou spíše projevem vlastností vokálního traktu než hlasivek. Pro rezonance vokálního traktu je doporučeno používat symbolu „ $R$ “. Dále jsou v symbolice odlišeny

frekvence, hladiny a šířky rezonancí a formantů. Pro harmonické složky jsou zavedeny symboly separátně označující jejich frekvenci, amplitudu a hladinu. Přehled těchto symbolů je uveden v Tab. 2.

**Tab. 2.** Doporučené symboly pro harmonické složky, rezonance vokálního traktu a formanty. (*Z publikace č. XVII [100]*)

Harmonics / Harmonické složky			Resonances /Rezonance			Formants / Formanty		
Frequency/ Frekvence (Hz)	Amplitude/ Amplituda (Pa)	Level/ Hladina (dB)	Frequency/ Frekvence (Hz)	Level of Peak / Hladina vrcholu (dB)	Bandwidth/ Šířka (Hz)	Frequency/ Frekvence (Hz)	Level of Peak/ Špičková hladina (dB)	Bandwidth /Šířka (Hz)
$(1)f_0$	$A_1$	$L_1$	$f_{R1}$	$L_{R1}$	$B_{R1}$	$f_{F1}$	$L_{F1}$	$B_{F1}$
$2f_0$	$A_2$	$L_2$	$f_{R2}$	$L_{R2}$	$B_{R2}$	$f_{F2}$	$L_{F2}$	$B_{F2}$
$3f_0$	$A_3$	$L_3$	$f_{R3}$	$L_{R3}$	$B_{R3}$	$f_{F3}$	$L_{F3}$	$B_{F3}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n f_0$	$A_n$	$L_n$	$f_{Rm}$	$L_{Rm}$	$B_{Rm}$	$f_{Fm}$	$L_{Fm}$	$B_{Fm}$

### 3.5. Kvantifikace vnímání hlasu pacientem pro potřeby klinické praxe (*publikace č. XVIII a č. XIX*)

Základním impulzem pro léčbu hlasu a základním vodítkem pro posouzení úspěšnosti terapie jsou pacientem subjektivně vnímané hlasové potíže. V poslední době je stále větší důraz kladen na možnost kvantifikace těchto hlasových potíží, které lze poté využít jako evidenci pro sledování úspěšnosti různých typů léčby [314–321]. Jedním ze základních nástrojů, které byly vyvinuty pro kvantifikaci subjektivních potíží pacientů u poruch hlasu, je psychometrický formulář Voice Handicap Index (VHI), neboli „Index hlasového postižení“, jehož původní anglická verze [322] byla přeložena do mnoha světových jazyků.

Snaha o český překlad VHI v minulosti vedla k několika vzájemně odlišným verzím tohoto instrumentu, které doposud nebyly sjednoceny do standardní oficiální podoby. V *publikaci č. XVIII* [90] z roku 2009 jsou využity tři takové nezávislé překlady VHI, ze kterých je vytvořena oficiální, lingvisticky korigovaná verze pro použití v klinické praxi v ČR (Obr. 26). Výsledné skóre VHI lze použít pro ověření funkčnosti léčebných metod v oblasti poruch hlasu. Zavedení VHI do praxe je poměrně nenáročné a nevyžaduje speciální finanční náklady.

Návazná *publikace č. XIX* [97] z roku 2015 představuje volně dostupnou softwarovou aplikaci „DigitalVHI“, kterou lze použít pro vyhodnocení dotazníku VHI a další dotazníková data. Tuto aplikaci lze jednoduše umístit do počítače na klinických pracovištích a použít jej v klinické praxi. Tento software zjednodušuje klinické studie, neboť umožňuje získat dotazníková data pro analýzu přímo v digitální formě bez nutnosti jejich přepisování z papírových dotazníků.

**Index hlasového postižení - Voice Handicap Index (VHI), česká sjednocená verze.**

Jméno a příjmení: \_\_\_\_\_ Datum narození: \_\_\_\_\_ Dnešní datum: \_\_\_\_\_

Stupeň Vašich hlasových potíží dnes (zakroužkujte): \_\_ Žádné \_\_ Mírné \_\_ Střední \_\_ Těžké

Níže uvedené výroky vyjadřují běžně používané popisy vlivu hlasu a jeho postižení na lidský život.  
Zakroužkujte odpověď, která nejlépe odpovídá Vaší situaci.

	Nikdy	Téměř nikdy	Někdy	Téměř vždy	Vždy
P1. Stává se, že mi během mluvení dochází dech.	0	1	2	3	4
P2. Zvuk mého hlasu se v průběhu dne mění.	0	1	2	3	4
P3. Stává se, že se mě lidé ptají, co to mám s hlasem.	0	1	2	3	4
P4. Můj hlas zní skřipavě a vyprahle.	0	1	2	3	4
P5. Abych ze sebe vydal/a hlas, musím vynaložit úsilí.	0	1	2	3	4
P6. Stává se, že dopředu nevím, jak můj hlas bude znít, když promluví.	0	1	2	3	4
P7. Když mluvím, snažím se měnit svůj hlas, aby zněl jinak.	0	1	2	3	4
P8. Mluvení mě stojí hodně úsilí.	0	1	2	3	4
P9. Večer je můj hlas znatelně horší než ráno.	0	1	2	3	4
P10. Stává se, že mi během mluvení hlas z ničeho nic vypoví službu.	0	1	2	3	4
F1. Stává se, že můj hlas lidé špatně slyší.	0	1	2	3	4
F2. V hlučném prostředí mi lidé špatně rozumějí.	0	1	2	3	4
F3. Moje rodina mě špatně slyší, když na ně doma zavolám.	0	1	2	3	4
F4. Kvůli potížím s hlasem používám telefon méně často než bych chtěl/a.	0	1	2	3	4
F5. Kvůli potížím s hlasem se raději vyhýbám situacím, kde bych měl/a mluvit ve skupině lidí.	0	1	2	3	4
F6. Kvůli potížím s hlasem mluvím méně často s přáteli, sousedy či rodinou.	0	1	2	3	4
F7. Lidé mě při rozhovoru často žádají, abych jim něco zopakoval/a.	0	1	2	3	4
F8. Potíže s hlasem mě omezují v osobním a společenském životě.	0	1	2	3	4
F9. Kvůli potížím s hlasem se cítím vyloučen/a, když si ostatní povídají.	0	1	2	3	4
F10. Mé potíže s hlasem mají nepříznivý dopad na mé výdělky.	0	1	2	3	4
E1. Kvůli potížím s hlasem jsem nervózní, když mám s někým mluvit.	0	1	2	3	4
E2. Zdá se mi, že můj hlas je lidem nepříjemný.	0	1	2	3	4
E3. Zdá se mi, že ostatní mé potíže s hlasem nechápou.	0	1	2	3	4
E4. Potíže s hlasem mi způsobují rozladění/rozčílení/nespokojenost.	0	1	2	3	4
E5. Kvůli potížím s hlasem jsem méně podnikavý/á, společenský/á.	0	1	2	3	4
E6. Kvůli potížím s hlasem se cítím znevýhodněn/a, hendikepován/a.	0	1	2	3	4
E7. Rozčiluje mě, když mě lidé žádají, abych opakoval/a, co jsem říkal/a.	0	1	2	3	4
E8. Cítím se trapně, když mě lidé žádají, abych opakoval/a, co jsem říkal/a.	0	1	2	3	4
E9. Kvůli potížím s hlasem se cítím neschopný/á.	0	1	2	3	4
E10. Stydím se za své potíže s hlasem.	0	1	2	3	4

Vyhodnocení: P hodnota \_\_\_\_\_, F hodnota \_\_\_\_\_, E hodnota \_\_\_\_\_. Celková hodnota \_\_\_\_\_.

**Obř. 26.** Česká sjednocená verze dotazníku „Voice Handicap Index“. (Z publikace č. XVIII [90])

### 3.6. Požadavky a protokoly pro klinická měření hlasu - doporučení komise ASHA (*publikace č. XX*)

Moderní diagnostika a terapie poruch hlasu je vázána na evidenci. Aby bylo možno podchytit poruchy hlasu v celé jejich multidimenzionální šíři, bylo v roce 2001 Evropskou laryngologickou společností (European laryngological society, ELS) doporučeno provádět zejména následující typy vyšetření a vyhodnocení hlasu [323]:

- 1) samohodnocení symptomů pacienta
- 2) hodnocení hlasu poslechem (percepční hodnocení)
- 3) změření akustických vlastností hlasu
- 4) změření aerodynamických vlastností hlasu
- 5) endoskopické (laryngoskopické) vyšetření hrtanu.

Pro samohodnocení symptomů pacienta (hodnocení typu 1) a poslechová hodnocení hlasu (hodnocení typu 2) již existují relativně unifikované nástroje, tj., dotazníky pro samohodnocení symptomů pacientem [314–322] (*viz publikace XVIII-XIX*) a konsenzuální CAPE-V protokol vyvinutý komisí ASHA pro percepční hodnocení hlasu [324]. Pro hodnocení hlasu prostřednictvím přístrojového vybavení (hodnocení typů 3-5) však nejsou k dispozici dostatečné specifikace. Měření a hodnocení těchto typů tak nejsou nutně porovnatelná mezi různými přístroji, různými pracovišti a různými výzkumnými studii.

V roce 2012 ustanovila Americká společnost pro řeč, jazyk a sluch (American Speech-Language-Hearing Association, ASHA) 9-ti člennou expertní komisi, do které byl přizván i autor této práce. Jejím úkolem bylo podrobněji specifikovat technické požadavky pro hodnocení hlasu (typů 3-5) za účelem a) zlepšení evidence klinického hodnocení hlasu, b) umožnění porovnání výsledků pro různé pacienty a různá pracoviště, a c) usnadnění hodnocení efektivity léčby. Výsledkem je *publikace č. XX [105]* z roku 2018, která přináší doporučení pro přístrojová vyšetření hlasu v oblastech endoskopického zobrazování hrtanu (videolaryngoskopie a videostroboskopie), akustické analýzy hlasu a aerodynamického vyšetření hlasu.

Publikace obsahuje specifikace pro:

- získávání dat, včetně požadavků na technické parametry přístrojů
- hlasové úkony potřebné pro jednotlivá hodnocení,
- metody analýzy prováděných úkonů a
- podávání zpráv o výsledcích.

Do doporučení v *publikaci XX [105]* byly zahrnuty i nejdůležitější specifická doporučení ohledně výběru mikrofону, hluku pozadí a SPL měření hlasu z *publikací XIV-XVI*.

## IV. Závěr

Pro pochopení základních mechanismů, které se účastní tvorby lidského hlasu, je třeba kombinovat velké množství informací z lékařských, přírodovědných, inženýrských a dalších oborů. Znalosti těchto mechanismů jsou důležité také pro prevenci a terapii poruch hlasu. Odborníků, kteří se problematice tvorby lidského hlasu věnují, není mnoho. V České republice pracuje přibližně 100 foniatrů, kteří jsou specializováni v péči o hlas, řeč a sluch. Pouze několik z nich se však věnuje vědecké práci a prohlubuje obecné znalosti o tvorbě hlasu. Přírodovědce a inženýry, kteří se tomuto problému v ČR věnují, lze také přibližně spočítat na prstech rukou. Situace v ČR odráží podobnou situaci ve světě – v porovnání s ostatními obory a s oblastmi řeči a sluchu je výzkum hlasu značně poddimenzován. Studie věnující se této oblasti mají proto podstatný význam pro zaplnění prázdných míst na pomyslné mapě znalostí o tvorbě hlasu člověka.

Předložená práce mapuje výzkumnou činnost autora ve třech vybraných oblastech: 1) vývoj laryngoskopické vyšetřovací metody videokymografie a její aplikace v klinické praxi, 2) dozimetrie a akcelerometrie hlasu, a 3) zlepšení reprodukovatelnosti měření a vyšetření hlasu. Mezi nejvýznamnější přínosy práce patří:

- videokymografie, autorem navržena praktická metoda pro vizualizaci kmitů hlasivek, která je použitelná v klinické praxi;
- identifikace rysů kmitání hlasivek u zdravého hlasu ve videokymografii;
- identifikace rysů kmitání hlasivek, které rozlišují různé mechanismy poruch hlasu ve videokymografii;
- metodika klinického vyšetření hlasu pomocí videokymografie;
- zjištění diagnostického přínosu videokymografie oproti tradiční laryngostroboskopické metodě;
- definice hlasových dávek, které umožňují měřit dlouhodobou hlasovou zátěž;
- metodika měření hlasových dávek;
- přístroj pro měření hlasových dávek;
- metodika měření hladiny akustického tlaku hlasu pomocí akcelerometru umístěného na krku, která je použitelná pro dozimetrii hlasu;
- kvantitativní informace o rozprostření hlasové zátěže a hlasového odpočinku během pracovní doby a volného času učitelů;
- doporučení pro výběr mikrofonů pro měření hlasu;
- doporučení pro maximální přípustné hladiny hluku při měření hlasu;
- doporučení pro reprodukovatelná měření hladiny akustického tlaku hlasu a řeči;
- doporučení pro používání symbolů při označování harmonických frekvencí a formantů hlasu;
- standardizovaná česká verze dotazníku „Voice Handicap Index“ pro samohodnocení postižení hlasu pacientem, použitelná v klinické praxi;
- doporučení pro měření hlasu pro klinické studie.

Tyto výsledky poskytují, mimo jiné, nástroje pro měření hlasu, pro diagnostiku hlasových poruch a pro zpřesnění a prohloubení informací o tvorbě lidského hlasu. Detaily zmíněných výsledků práce autora jsou podrobněji popsány ve 20 publikacích, které tvoří přílohy této práce.

## Reference

1. Ruben RJ (2000) Redefining the survival of the fittest: communication disorders in the 21st century. *Laryngoscope* 110: 241-245.
2. Verdolini K, Ramig LO (2001) Review: occupational risks for voice problems. *Logoped Phoniatr Vocol* 26: 37-46.
3. Vilkman E (2000) Voice problems at work: a challenge for occupational safety and health arrangement. *Folia Phoniatr Logop* 52: 120-125.
4. Titze IR, Lemke J, Montequin D (1997) Population in the U.S. workforce who rely on voice as a primary tool of trade: a preliminary report. *J Voice* 11: 254-259.
5. Švec J, Pešák J (1992) Vlastnosti hlasových přeskoků. [Properties of vocal breaks]. *Bulletin of the Acoustical Society of Czechoslovakia* 2/1992: 1-5.
6. Švec J, Pešák J (1994) Vocal breaks from the modal to falsetto register. *Folia Phoniatr Logop* 46: 97-103.
7. Švec JG, Schutte HK, Miller DG (1996) A subharmonic vibratory pattern in normal vocal folds. *J Speech Hear Res* 39: 135-143.
8. Švec J (1996) Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertacní práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky.
9. Švec JG, Schutte HK, Miller DG (1999) On pitch jumps between chest and falsetto registers in voice: data from living and excised human larynges. *J Acoust Soc Am* 106: 1523-1531.
10. Švec, JG (2000) On vibration properties of human vocal folds: voice registers, bifurcations, resonance characteristics, development and application of videokymography. (Doctoral Dissertation). Groningen, the Netherlands: University of Groningen.
11. Miller DG, Švec JG, Schutte HK (2002) Measurement of characteristic leap interval between chest and falsetto registers. *J Voice* 16: 8-19.
12. Horáček J, Švec JG, Veselý J (2003) Bifurkační jevy při kmitání lidských hlasivek – experimenty in vitro. In: Zolotarev I, editors. *Proceedings Interaction and Feedbacks '2003*. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 51-60.
13. Švec JG (2004) Research journey: chest-falsetto discontinuity and videokymography. In: Schutte HK, Poppema S, te Bos E, editors. *Physiology and Acoustics of Singing (PAS)*, 3-5 October, 2002, Groningen, the Netherlands (CD-ROM). Groningen, the Netherlands: Groningen Voice Research Lab.
14. Tokuda IT, Horáček J, Švec JG, Herzel H (2007) Comparison of biomechanical modeling of register transitions and voice instabilities with excised larynx experiments. *J Acoust Soc Am* 122: 519-531.
15. Švec JG, Sundberg J, Hertegard S (2008) Three registers in an untrained female singer analyzed by videokymography, strobolarinoscopy and sound spectrography. *J Acoust Soc Am* 123: 347-353.
16. Tokuda IT, Horáček J, Švec JG, Herzel H (2008) Bifurcations and chaos in register transitions of excised larynx experiments. *Chaos* 18: article no. 013102.
17. Herbst CT, Ternström S, Švec JG (2009) Investigation of four distinct glottal configurations in classical singing-A pilot study. *J Acoust Soc Am* 125: EL104-EL109.
18. Švec JG, Herbst CT, Ternström S (2009) Membranous versus cartilaginous glottal adduction in four singing voice qualities: pilot laryngostroboscopic and videokymographic observations. In: Godino-Llorente JI, Gómez Vilda P, Fraile R, editors. *AVFA '09, 3rd Advanced Voice Function Assessment International Workshop, 18th-20th May 2009, Madrid (Spain)*. Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid. pp. 21-23.
19. Herbst CT, Qiu Q, Schutte HK, Švec JG (2011) Membranous and cartilaginous vocal fold adduction in singing. *J Acoust Soc Am* 129: 2253-2262.

20. Herbst CT, Švec JG (2014) Adjustment of glottal configurations in singing. *J Singing* 70: 301-308.
21. Švec JG, Schutte HK (1996) Videokymography: high-speed line scanning of vocal fold vibration. *J Voice* 10: 201-205.
22. Schutte HK, Švec JG, Šram F (1997) Videokymography: research and clinical issues. *Logoped Phoniatr Vocol* 22: 152-156.
23. Šram F, Schutte HK, Švec JG (1997) Clinical applications of videokymography. In: McCafferty G, Coman W, Carroll R, editors. Sydney '97 - XVI. World Congress of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery. Proceedings, vol. 2. Bologna: Monduzzi Editore. pp. 1681-1684.
24. Švec JG, Schutte HK, and Šram F (1997) Introduction to videokymography. (Video tape). Prague: Medical Healthcom.
25. Schutte HK, Švec JG, Šram F (1998) First results of clinical application of videokymography. *Laryngoscope* 108: 1206-1210.
26. Šram F, Švec JG, Schutte HK (1999) Possibilities for use of videokymography in laryngologic and phoniatic practice. In: Dejonckere PH, Peters HFM, editors. Communication and its disorders: a science in progress. Proceedings 24th Congress International Association of Logopedics and Phoniatics, Amsterdam, the Netherlands, August 23-27, 1998. Vol. I. International Association of Logopedics and Phoniatics. pp. 256-259.
27. Švec JG, Schutte HK, Šram F (1999) Variability of vibration of normal vocal folds as seen in videokymography. In: Dejonckere PH, Peters HFM, editors. Communication and its disorders: a science in progress. Proceedings 24th Congress International Association of Logopedics and Phoniatics, Amsterdam, the Netherlands, August 23-27, 1998. Vol. I. International Association of Logopedics and Phoniatics. pp. 122-125.
28. Švec JG, Šram F, Schutte HK (1999) Videokymografie: nová vysokofrekvenční metoda vyšetřování kmitů hlasivek. *Otorinolaryngol (Prague)* 48: 155-162.
29. Šram F, Švec JG (2000) Videokymografie v klinické praxi. In: Pešák J, editors. Sborník přednášek 5. semináře univerzitního Společenství pro studium hlasu a řeči. Olomouc: Společenství pro studium hlasu a řeči, Univerzita Palackého. pp. 12-19.
30. Šram F, Švec JG (2000) Results of videokymographic examinations by functional voice disorders. In: Gross M, editors. Aktuelle phoniatisch-pädaudiologische Aspekte 1999/2000, Band 7. Heidelberg: Median-Verlag von Killisch-Horn. pp. 53-56.
31. Šram F, Švec JG (2000) Videokymografie v klinické praxi. In: Pešák J, editors. Psychotrofon 1: I. soubor přednášek. Olomouc: Palacký University. pp. 28-36.
32. Švec JG, Šram F, Schutte HK (2000) Videokymography in 2000: the present state and perspectives of the high-speed line-imaging technique. In: Braunschweig T, Hanson J, Schelhorn-Neise P, Witte H, editors. Advances in Quantitative Laryngoscopy, Voice and Speech Research. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Workshop. Jena, April 7-8, 2000. Jena: Friedrich - Schiller University. pp. 57-62.
33. Švec JG, Šram F (2002) Kymographic imaging of the vocal fold oscillations. In: Hansen JHL, Pellom B, editors. ICSLP-2002 Conference Proceedings, Vol.2. 7th International Conference On Spoken Language Processing, September 16-20 2002, Denver, Colorado, USA. Boulder, CO: Center for Spoken Language Research. pp. 957-960.
34. Šram F, Švec J, Havlík R, Frič M (2003) Poruchy hlasu. *Iatrike Techne* 1/2003: LVI-LXII.
35. Frič M, Šram F, Švec J (2006) Diplofónia – komplexné kmitanie hlasiviek prezentované vo videokymografii a vysokofrekvenčnej laryngoskopii. In: Proceedings of the 2nd International Symposium Material – Acoustics – Place 2006. Zvolen, Slovakia: Technical University in Zvolen. pp. 65-68.
36. Švec JG, Frič M, Šram F, Švecová H, Schutte HK (2006) Visually-based evaluation protocol for laryngeal videokymographic images. In: Proceedings AQL 2006: 7th International



- Conference Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research, October 6 - 7, 2006, Groningen, the Netherlands (CD ROM). Groningen, the Netherlands: Groningen Voice Research Lab, University of Groningen. pp. 1-6.
37. Švec JG, Frič M, Šram F, Schutte HK (2007) Mucosal waves on the vocal folds: Conceptualization based on videokymography. In: Manfredi C, editors. Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications: 5th International Workshop (MAVEBA 2007). Firenze, Italy: Firenze University Press. pp. 171-172.
  38. Švec JG, Šram F, Schutte HK (2007) Videokymography in voice disorders: What to look for? *Ann Otol Rhinol Laryngol* 116: 172-180.
  39. Kastner J, Zábrodský M, Astl J, Zvěřina E, Mrzena L, Šram F, Švec J, Kastnerová E, Betka J (2010) Chirurgická léčba jednostranné parézy zvrtného nervu. *Endoskopie* 19: 21-27.
  40. Švec JG, Šram F (2011) Videokymographic examination of voice. In: Ma EPM, Yiu EML, editors. Handbook of Voice Assessments. San Diego, CA: Plural Publishing. pp. 129-146.
  41. Šram F, Švec JG, Vydrová J (2010) Včasná diagnostika poruch hlasu včetně rakoviny hlasivek. *Lékařské listy* 3/2010: 9-12.
  42. Šram F, Švec JG, Vydrová J (2010) VIDEOKYMOGRAFIE V LÉKAŘSKÉ PRAXI. In: Dršata J, Otčenášek Z, editors. Sborník abstrakt a příspěvků 2. Symposia Umělecký hlas 2010. Praha: Zvukové studio HAMU a Hlasové a sluchové centrum Praha. pp. 47-48.
  43. Švec JG, Schutte HK (2012) Kymographic imaging of laryngeal vibrations. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 20: 458-465.
  44. Lohscheller J, Švec JG, Döllinger M (2013) Vocal-fold vibration amplitude, open quotient, speed quotient and their variability along glottal length: Kymographic data from normal subjects. *Logoped Phoniatr Vocol* 38: 182-192.
  45. Novozámský A, Sedlář J, Zita A, Šroubek F, Flusser J, et al. (2015) Image analysis of videokymographic data. In: IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 27-30 Sept. 2015, Quebec City, QC, Canada. IEEE. pp. 78-82, doi 10.1109/ICIP.2015.7350763.
  46. Vydrová J, Švec JG, Šram F (2015) Videokymography (VKG) in laryngologic practice. *Journal of MacroTrends in Health and Medicine* 3: 87-95.
  47. Phadke KV, Vydrová J, Domagalská R, Švec JG (2017) Evaluation of clinical value of videokymography for diagnosis and treatment of voice disorders. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 274: 3941-3949.
  48. Vydrová J, Švec JG, Zitová B, Novozámský A, Zita A, Šorel M (19-12-2017) Metodika hodnocení poruchy hlasu z videokymografických záznamů. (Certifikovaná metodika č. 1170896). Praha: Elektrotechnický zkušební ústav.
  49. Šram F, Švec JG, Vydrová J (2018, in press) Videokymography. In: am Zehnhoff-Dinnesen A, Wiskirska-Woznica B, Neumann K, Nawka T, editors. European Manual of Medicine: Phoniatics 1. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
  50. Švec JG, Horáček J, Šram F, Veselý J (2000) Resonance properties of the vocal folds: in vivo laryngoscopic investigation of the externally excited laryngeal vibrations. *J Acoust Soc Am* 108: 1397-1407.
  51. Horáček J, Švec JG (1999) Formulation of a mathematical model of vocal folds oscillations. In: Zolotarev I, editors. Interakce dynamických systémů s okolním prostředím a soustavy se zpětnou vazbou VI: Sborník referátů semináře INTERAKCE A ZPĚTNÉ VAZBY '99. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR. pp. 57-64.
  52. Horáček J, Švec JG (2000) Aeroelastic model of vocal-fold vibration. In: Ziada S, Staubli T, editors. Proceedings of 7th International Conference on Flow-Induced Vibration-FIV 2000, Luzern, Switzerland, June 19-22, 2000. Rotterdam: A. A. Balkema. pp. 419-425.
  53. Horáček J, Švec JG (2000) Numerical analysis of aeroelastic behaviour of the vocal folds. In: Zolotarev I, editors. Interaction and Feedbacks '2000. Proceedings of the VII-th National

- Seminar with International Participation, November 28-29, 2000, Prague. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 35-44.
54. Horáček J, Švec JG (2001) Matematický model kmitání hlasivek v interakci s proudem vzduchu - numerické výpočty. In: Zolotarev I, editors. Proceedings Interaction and Feedbacks '2001. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 53-62.
  55. Horáček J, Švec JG (2002) Aeroelastic model of vocal-fold-shaped vibrating element for studying the phonation threshold. *J Fluids Struct* 16: 931-955.
  56. Horáček J, Švec JG (2002) Instability boundaries of a vocal fold modelled as a flexibly supported rigid body vibrating in a channel conveying fluid. In: Paidoussis MP, editors. Proceedings of the 5th International Symposium on Fluid Structure Interaction, Aeroelasticity, Flow Induced Vibration and Noise (IMECE2002), Vol.3 ASME Int. Mechanical Engineering Congress, 17-22 November 2002, New Orleans, Louisiana, USA (CD-ROM). New York, NY, USA: American Society of Mechanical Engineers (ASME). pp. 1043-1054.
  57. Horáček J, Šidlof P, Švec JG (2005) Numerical simulation of self-oscillations of human vocal folds with Hertz model of impact forces. *J Fluids Struct* 20: 853-869.
  58. Horáček J, Švec JG, Veselý J, Vilkman E (2000) Experimental study of the vocal-fold vibration in excised larynx: Measurement set-up and techniques. In: Zolotarev I, editors. Proceedings of Interaction and Feedbacks '2000. VII-th National Seminar with International Participation, November 28-29, 2000, Prague. Prague, Czech Republic: Institute of Thermomechanics, Academy of Sciences. pp. 27-34.
  59. Horáček J, Švec JG, Veselý J, Vilkman E, Klepáček I, et al. (2001) Measurement of the vocal-fold vibration behaviour in excised human larynges. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications. Firenze, Italy, September 13 - 15, 2001. (CD ROM). Firenze: University of Firenze, Department of Electronics and Telecommunications and Department of Physics.
  60. Horáček J, Švec JG, Veselý J, Vilkman E, Klepáček I (2001) Measurement of the vocal-fold vibration. In: Poživilová A, Masák J, editors. Proceedings of the Conference Engineering Mechanics 2001, Svratka, Czech Republic, May 14-17, 2001 (CD-ROM).
  61. Horáček J, Švec JG, Klepáček I, Vetesnik A, Veselý J (2002) Tvar hlasivek člověka při fonačním postavení. In: Houfek L, Hlavoň P, Krejčí P, editors. INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002, 13.-16. 5. 2002, Svratka, Česká republika (CD-ROM). Brno: Ústav mechaniky těles, VUT FSI. pp. 10p.
  62. Horáček J, Švec JG, Veselý J, Vilkman E (2004) Bifurcations in excised larynges caused by vocal fold elongation. In: International Conference on Voice Physiology and Biomechanics. Marseille, August 18-20, 2004. Abstracts. pp. 87-89.
  63. Šidlof P, Švec JG, Horáček J, Veselý J, Klepáček I, Havlík R (2008) Geometry of human vocal folds and glottal channel for mathematical and biomechanical modeling of voice production. *J Biomech* 41: 985-995.
  64. Dedouch K, Horáček J, Vampola T, Kršek P, Švec JG (2001) Design of finite element models of male vocal tract. In: Proceedings of the Conference Engineering Mechanics 2001, Svratka, Czech Republic, May 14-17, 2001 (CD-ROM).
  65. Dedouch K, Horáček J, Vampola T, Švec JG, Kršek P, et al. (2002) Acoustic modal analysis of male vocal tract for Czech vowels. In: Zolotarev I, editors. Proceedings Interaction and Feedbacks '2002. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 13-20.
  66. Vohradník M, Dedouch K, Vokřál J, Švec JG (2003) Finite element model of supraglottal space in cleft palate. *International Congress Series* 1240: 1145-1149.
  67. Horáček J, Šidlof P, Švec JG, Griffond-Boitier F (2004) Computational simulation of human voice using aeroelastic model of the vocal folds and FE model of the vocal tract. In: Computational Mechanics 2004, Volume 1. 20th Conference with International

- Participation. Hrad Nečtiny, Czech Republic, November 8-10, 2004. Plzeň, Czech Republic: ZCU. pp. 153-162.
68. Horáček J, Šidlof P, Švec JG, Griffond-Boitier F (2005) Numerical simulation of human voice production using aeroelastic model of self-oscillations of the vocal folds and finite element model of the vocal tract. In: Bathe KJ, editors. Third MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics 2005. Elsevier. pp. 984-988.
  69. Švec JG, Herbst C, Havlík R, Horáček J, Krupa P, et al. (2008) Singer's formant: Preliminary results of MRI and acoustic evaluations of singers. In: Zolotarev I, editors. Proceedings Interaction and Feedbacks 2008. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 99-108.
  70. Vampola T, Horáček J, Švec JG (2008) FE modeling of human vocal tract acoustics. Part I: Production of Czech vowels. *Acta Acust United Acust* 94: 433-447.
  71. Vampola T, Laukkanen A-M, Horáček J, Švec JG (2011) Vocal tract changes caused by phonation into a tube: A case study using computer tomography and finite element modeling. *J Acoust Soc Am* 129: 310-315.
  72. Vampola T, Laukkanen A-M, Horáček J, Švec JG (2011) Finite element modelling of vocal tract changes after voice therapy. *Applied and Computational Mechanics* 5: 77-88.
  73. Laukkanen A-M, Horáček J, Krupa P, Švec JG (2012) The effect of phonation into a straw on the vocal tract adjustments and formant frequencies. A preliminary MRI study on a single subject completed with acoustic results. *Biomed Signal Process Control* 7: 50-57.
  74. Švancara P, Horáček J, Švec JG (2012) Numerical simulation of the self-oscillations of the vocal folds and of the resulting acoustic phenomena in the vocal tract. In: Beran J, Bílek M, Hejnová M, Zabka P, editors. *Advances in Mechanisms Design. Proceedings of TMM 2012*. Dordrecht, Germany: Springer. pp. 357-363.
  75. Guzman MA, Laukkanen A-M, Krupa P, Horáček J, Švec JG, Geneid A (2013) Vocal tract and glottal function during and after vocal exercising with resonance tube and straw. *J Voice* 27: 523.e19-523.e34.
  76. Vampola T, Horáček J, Švec JG (2015) Modeling the influence of piriform sinuses and valleculae on the vocal tract resonances and antiresonances. *Acta Acust United Acust* 101: 594-602.
  77. Vampola T, Horáček J, Laukkanen A-M, Švec JG (2015) Human vocal tract resonances and the corresponding mode shapes investigated by three-dimensional finite-element modelling based on CT measurement. *Logoped Phoniatr Vocol* 40: 14-23.
  78. Popolo PS, Rogge-Miller K, Švec JG, Titze IR (2002) Technical considerations in the design of a wearable voice dosimeter. *NCVS Online Technical Memo No. 5*, February 2005: 1-6.
  79. Švec JG, Popolo PS, Titze IR (2003) Measurement of vocal doses in speech: Experimental procedure and signal processing. *Logoped Phoniatr Vocol* 28: 181-192.
  80. Švec JG, Titze IR, Popolo PS (2003) Vocal dosimetry: Theoretical and practical issues. In: Schade G, Müller F, Wittenberg T, Hess M, editors. *AQL 2003 Hamburg: Proceeding Papers for the Conference Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research*. (CD ROM). Stuttgart, Germany: IRB Verlag. pp. 8p.
  81. Titze IR, Švec JG, Popolo PS (2003) Vocal dose measures: Quantifying accumulated vibration exposure in vocal fold tissues. *J Speech Lang Hear Res* 46: 919-932.
  82. Popolo PS, Švec JG, Hunter EJ, Starr AC, Rogge-Miller K, Nix J, Titze IR (2004) Teacher's guide to voice dosimetry. *NCVS Online Technical Memo No.4*, October 2004: 1-31.
  83. Švec JG, Hunter EJ, Popolo PS, Rogge-Miller K, Titze IR (2004) The calibration and setup of the NCVS dosimeter. *NCVS Online Technical Memo No.2*, April 2004, version 2.4: 1-52.
  84. Popolo PS, Švec JG, Titze IR (2005) Adaptation of a pocket PC for use as a wearable voice dosimeter. *J Speech Lang Hear Res* 48: 780-791.
  85. Švec JG, Titze IR, Popolo PS (2005) Estimation of sound pressure levels of voiced speech from skin vibration of the neck. *J Acoust Soc Am* 117: 1386-1394.

86. Titze IR, Hunter EJ, Švec JG (2007) Voicing and silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers. *J Acoust Soc Am* 121: 469-478.
87. van Kalker TA, Schutte HK, Qiu Q, Švec JG, Mahieu HF (2006) First clinical experiences of second generation videokymography. In: *Proceedings AQL 2006: Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research, October 6-7, 2006, Groningen, the Netherlands* [CD-ROM]. Groningen, the Netherlands: Groningen Voice Research Lab, University of Groningen. pp. 1-8.
88. Švec JG, Šram F, Schutte HK (2009) Videokymography. In: Fried MP, Ferlito A, editors. *The Larynx. Third Edition. Volume I.* San Diego, CA: Plural Publishing. pp. 253-274.
89. Švec JG, Šrámková H, Granqvist S (2009) Basic requirements on microphones for voice recordings. In: Manfredi C, editors. *Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications: 6th International Workshop (MAVEBA 2009).* Firenze, Italy: Firenze University Press. pp. 157-160.
90. Švec JG, Lejska M, Frostová J, Zábrodský M, Dršata J, Král P (2009) Česká verze dotazníku Voice Handicap Index pro kvantitativní hodnocení hlasových potíží vnímaných pacientem. *Otorinolaryngol (Prague)* 58: 132-139.
91. Herbst CT, Fitch WT, Švec JG (2010) Electroglottographic wavegrams: A technique for visualizing vocal fold dynamics noninvasively. *J Acoust Soc Am* 128: 3070-3078.
92. Švec JG, Granqvist S (2010) Guidelines for selecting microphones for human voice production research. *Am J Speech Lang Pathol* 19: 356-368.
93. Šrámková H, Granqvist S, Fürst T, Švec JG (2011) Měření dynamického rozsahu lidského hlasu. [Measurements of dynamic range of human voice]. *Akustické listy* 17: 11-18.
94. Hampala V, Švec J, Schovánek P, Mandát D, inventors; Soukup, P., assignees (24-6-2013) Užitný vzor č. 25585: Model subglotického traktu. Application CZ 25505 U1.
95. Herbst CT, Herzel H, Švec JG, Wyman MT, Fitch WT (2013) Visualization of system dynamics using phasegrams. *Journal of the Royal Society Interface* 10: 20130288.
96. Herbst CT, Lohscheller J, Švec JG, Henrich N, Weissengruber G, Fitch WT (2014) Glottal opening and closing events investigated by electroglottography and super-high-speed video recordings. *Journal of Experimental Biology* 217: 955-963.
97. Herbst CT, Oh J, Vydrová J, Švec JG (2015) DigitalVHI - a freeware open source application software to capture the Voice Handicap Index and other questionnaire data in various languages. *Logoped Phoniatr Vocol* 40: 70-74.
98. Hampala V, Schovánek P, Mandát, D., and Švec J, inventors; Soukup, P., assignees (29-6-2015) Užitný vzor č. 28397: Hemi-laryngeální měřicí sestava pro elektroglotografii. Application CZ 28397 U1.
99. Šrámková H, Granqvist S, Herbst CT, Švec JG (2015) The softest sound levels of human voice in normal subjects. *J Acoust Soc Am* 137: 407-418.
100. Titze IR, Baken RJ, Bozeman KW, Granqvist S, Henrich N, Herbst CT, Howard DM, Hunter EJ, Kaelin D, Kent RD, Kreiman J, Kob M, Löfqvist A, McCoy S, Miller DG, Noé H, Scherer RC, Smith JR, Story BH, Švec JG, Ternström S, Wolfe J (2015) Toward a consensus on symbolic notation of harmonics, resonances, and formants in vocalization. *J Acoust Soc Am* 137: 3005-3007.
101. Hampala V, Garcia M, Švec JG, Scherer RC, Herbst CT (2016) Relationship between the electroglottographic signal and vocal fold contact area. *J Voice* 30: 161-171.
102. Herbst CT, Unger J, Herzel H, Švec JG, Lohscheller J (2016) Phasegram analysis of vocal fold vibration documented with laryngeal high-speed video endoscopy. *J Voice* 30: 771.e1-771.e15.
103. Herbst CT, Hampala V, Garcia M, Hofer R, Švec JG (2017) Hemi-laryngeal setup for studying vocal fold vibration in three dimensions. *J Vis Exp* 2017: Art no. e55303-doi:10.3791/55303.

104. Herbst CT, Schutte HK, Bowling DL, Švec JG (2017) Comparing chalk with cheese—the EGG contact quotient is only a limited surrogate of the closed quotient. *J Voice* 31: 401-409.
105. Patel RR, Awan SN, Barkmeier-Kraemer J, Courey M, Deliyski D, Eadie T, Paul D, Švec JG, Hillman R (2018) Recommended minimum protocols for instrumental assessment of voice: American Speech-Language Hearing Association Committee on Instrumental Voice Assessment Protocols. *Am J Speech Lang Pathol* 27: 887-905.
106. Švec JG, Granqvist S (2018) Tutorial and guidelines on measurement of sound pressure level in voice and speech. *J Speech Lang Hear Res* 61: 441-461.
107. Herbst CT, Švec JG, Lohscheller J, Frey R, Gumpenberger M, Stoeger AS, Fitch WT (2013) Complex vibratory patterns in an elephant larynx. *Journal of Experimental Biology* 216: 4054-4064.
108. Elemans CPH, Rasmussen JH, Herbst CT, During DN, Zollinger SA, Brumm H, Srivastava K, Svane N, Ding M, Larsen ON, Sober SJ, Švec JG (2015) Universal mechanisms of sound production and control in birds and mammals. *Nature Communications* 6: Article number: 8978.
109. Schutte HK, Miller DG, Švec JG (1995) Measurement of formant frequencies and bandwidths in singing. *J Voice* 9: 290-296.
110. Švec JG (2000) Fyziologická akustika zpěvního hlasu: Nový pohled na starý problém. In: Jiříček O, editors. 60. akustický seminář & 36. akustická konference, Kouty, 22.-26.5.2000. (Sborník). Praha: ČVUT & Česká akustická společnost. pp. 219-226.
111. Švec JG, Šram F (2000) Náhlé změny kmitání hlasivek při fonaci. In: Zolotarev I, editors. Interaction and Feedbacks '2000. Proceedings of the VII-th National Seminar with International Participation, November 28-29, 2000, Prague. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 245-250.
112. Hunter EJ, Švec JG, Titze IR (2006) Comparison of the produced and perceived voice range profiles in untrained and trained classical singers. *J Voice* 20: 513-526.
113. Švec JG, Sundberg J, Hertegard S (2008) Sound and video examples complementing the article „Three registers in an untrained female singer analyzed by videokymography, strobolarngoscopy and sound spectrography“. *NCVS Online Technical Memo* 10 version 1.1: 1-4.
114. Herbst CT, Hess M, Müller F, Švec JG, Sundberg J (2015) Glottal adduction and subglottal pressure in singing. *J Voice* 29: 391-402.
115. Andrade PA, Švec JG (2016) Observational study of differences in head position for high notes in famous classical and non-classical male singers. *Logoped Phoniatr Vocol* 41: 77-84.
116. Dedouch K, Vohradník M, Laub M, Švec J (1998) Návrh ortotropního modelu hlasivky. In: National Conference with International Participation ENGINEERING MECHANICS '98, Svratka, Czech Republic, May 11-14, 1998. Prague: Institute of Thermomechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic. pp. 107-112.
117. Dedouch K, Horáček J, Vampola T, Švec J (1999) Akustické vlastnosti konečnoprvkového modelu vokálního traktu člověka. In: Zolotarev I, editors. Interakce dynamických systémů s okolním prostředím a soustavy se zpětnou vazbou VI: Sborník referátů semináře INTERAKCE A ZPĚTNÉ VAZBY '99. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR. pp. 41-48.
118. Dedouch K, Vohradník M, Laub M, Švec J (1999) Výpočetní model kmitání hlasivky za patologického stavu. In: Jelen K, Pejšová J, editors. Biomechanika člověka '98. VII. konference České společnosti pro biomechaniku. Proceedings. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu pro Českou společnost pro biomechaniku. pp. 19-22.
119. Dedouch K, Vohradník M, Švec J (1999) Modální analýza výpočetního modelu hlasivky. In: Kratochvíl C, Kotek V, Krejsa J, editors. INŽENÝRSKÁ MECHANIKA

- '99/ENGINEERING MECHANICS '99, Svratka, Czech Republic, 17.-20.května/May 17-20, 1999. Sborník/Proceedings, Svazek/Volume 1. Brno: Ústav mechaniky těles, Fakulta strojní, VUT v Brně. pp. 493-498.
120. Dedouch K, Vampola T, Švec J (1999) Analýza vlivu délky kmitající části hlasivky na změnu modálních vlastností hlasivky. In: Křen J, editors. 15. konference s mezinárodní účastí VÝPOČTOVÁ MECHANIKA '99/15th Conference with International Participation COMPUTATIONAL MECHANICS '99, October 18-20, 1999, Nečtiny, Czech Republic. Plzeň/Pilsen: Západočeská univerzita/University of West Bohemia. pp. 39-46.
  121. Dedouch K, Horáček J, Vampola T, Vohradník M, Švec J (1999) Finite element model of supraglottal vocal tract with consideration of wall impedance. In: Horáček J, Zolotarev I, editors. Proceedings of the 3rd International Conference ENGINEERING AERO-HYDROELASTICITY. Prague: Institute of Thermomechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic. pp. 131-134.
  122. Dedouch K, Horáček J, Veselý J, Vampola T, Švec J (2000) Dynamic analysis of the human supraglottal space considering acoustic-structural interactions. In: Proceedings of the International Conference Engineering Mechanics 2000, Svratka, Czech Republic, 15 - 18 May 2000. Vol. III. pp. 65-70.
  123. Dedouch K, Horáček J, Švec J (2000) Frequency modal analysis of supraglottal vocal tract. In: Ferguson NS, Wolfe HF, Ferman MA, Rizzi SA, editors. Structural dynamics: recent advances. Proceedings of the 77th International Conference. Vol.II. The Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, UK. pp. 863-874.
  124. Dedouch K, Horáček J, Vampola T, Kršek P, Švec JG (2001) Mathematical modelling of male vocal tract. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications. Firenze, Italy, September 13 - 15, 2001. (CD ROM). Firenze: University of Firenze, Department of Electronics and Telecommunications and Department of Physics.
  125. Horáček J, Švec JG (2001) Analysis of aeroelastic behaviour of the vocal-fold-shaped vibrating element. In: Schutte HK, editors. Proceedings of the Vth International Conference Advances in Quantitative Laryngology, Groningen, the Netherlands, April 27-28, 2001. (CD-ROM). Groningen Voice Research Lab, University of Groningen.
  126. Horáček J, Šidlof P, Švec JG (2003) Numerical modelling of leakage-flow-induced vibrations of human vocal folds with Hertz impact forces. In: Manfredi C, editors. Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications. 3rd International Workshop MAVIBA 2003, December 10 - 12, 2003, Firenze, Italy. Firenze, Italy: Firenze University Press. pp. 143-146.
  127. Horáček J, Šidlof P, Švec JG (2004) Numerical simulation of self-oscillations of human vocal folds with Hertz model of impact forces. In: de Langre E, Axisa F, editors. Flow-induced vibration. Proceedings of the 8th international conference on flow-induced vibration, FIV2004, Paris, France, 6-9 July 2004. France. pp. 143-148.
  128. Horáček J, Šidlof P, Švec JG, Griffond-Boitier F, Laukkanen A-M (2006) Computational simulation of production of Czech vowels using an aeroelastic model of the vocal folds and a FE model of the vocal tract. In: ICVPB 2006: Proceedings of the 5th International Conference on Voice Physiology and Biomechanics, July 12-14 2006, Tokyo, Japan. pp. 71-74.
  129. Laukkanen A-M, Horáček J, Švec JG (2006) Skewing of the glottal area during vocal fold vibration: A computer modelling study. In: ICVPB 2006: Proceedings of the 5th International Conference on Voice Physiology and Biomechanics, July 12-14 2006, Tokyo, Japan. pp. 30-33.
  130. Tokuda I, Horáček J, Švec JG, Herzel H (2006) Nonlinear modelling of vocal fold vibration in excised larynges: Regression model and biomechanical model. In: ICVPB 2006:

- Proceedings of the 5th International Conference on Voice Physiology and Biomechanics, July 12-14 2006, Tokyo, Japan. pp. 67-68.
131. Vampola T, Horáček J, Krupa P, Švec JG, Havlík R, et al. (2008) FE model of acoustic spaces and analysis of human vocal tract for ordinary and singing voice - a preliminary study. In: Zolotarev I, editors. Proceedings Interaction and Feedbacks 2008. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 115-124.
  132. Horáček J, Švec JG, Šidlof P (2009) Numerical simulation of videokymographic images of self-oscillating vocal folds. In: Godino-Llorente JI, Gómez Vilda P, Fraile R, editors. AVFA '09, 3rd Advanced Voice Function Assessment International Workshop, 18th-20th May 2009, Madrid (Spain). Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid. pp. 13-16.
  133. Horáček J, Laukkanen A-M, Šidlof P, Murphy P, Švec JG (2009) Comparison of acceleration and impact stress as possible loading factors in phonation: A computer modeling study. *Folia Phoniatri Logop* 61: 137-145.
  134. Horáček J, Vampola T, Laukkanen A-M, Švec JG (2010) Computer modeling of the effects of vocal exercising with a tube on vocal tract sound power transfer. In: Zolotarev I, editors. Proceedings Interaction and Feedbacks 2010. Prague: Institute of Thermomechanics AS CR. pp. 29-37.
  135. Švancara P, Tomeček V, Horáček J, Švec JG (2013) Finite element modelling of sound pressure around the human head during phonation. In: Zolotarev I, editors. Proceedings of the 19th International Conference ENGINEERING MECHANICS 2013, Svratka, Czech Republic, May 13 - 16, 2013. (Electronic version). Prague, Czech Republic: Institute of Thermomechanics ASCR. pp. 596-602.
  136. Švancara P, Tomeček V, Horáček J, Švec JG (2013) Finite element modelling of sound pressure around the human head during phonation. (Extended abstract). In: Zolotarev I, editors. Engineering Mechanics 2013. Book of extended abstracts. Prague, Czech Republic: Institute of Thermomechanics ASCR. pp. 157-158.
  137. Švancara P, Horáček J, Martinek T, Švec JG (2014) Numerical simulation of videokymographic images from the results of the finite element model. In: Fuis V, editors. Engineering Mechanics 2014. 20th International Conference on Engineering Mechanics 2014, Svratka, Czech Republic, 12 - 15 May 2014. Brno, Czech Republic: Institute of Solid Mechanics, Mechatronics and Biomechanics. pp. 640-643.
  138. Hájek P, Švancara P, Horáček J, Švec JG (2016) Numerical simulation of the effect of the stiffness of lamina propria on the self-sustained oscillation of the vocal folds. In: Zolotarev I, Radolf V, editors. Engineering Mechanics 2016. 22nd International Conference on Engineering Mechanics, Svratka Czech Republic. Prague, Czech Republic: Academy of Sciences of the Czech Republic, Institute of Thermomechanics. pp. 182-185.
  139. Hájek P, Švancara P, Horáček J, Švec JG (2016) Finite element modelling of the effect of stiffness and damping of vocal folds layers on their vibrations and produced sound. *Applied Mechanics and Materials* 821: 657-664.
  140. Hájek P, Švancara P, Horáček J, Švec JG (2017) Numerical simulation of the self-oscillating vocal folds in interaction with vocal tract shaped for particular Czech vowels. In: Jabłoński R, Szewczyk R, editors. Recent Global Research and Education: Technological Challenges. Proceedings of the 15th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2016. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. pp. 317-323.
  141. Hájek P, Švancara P, Horáček J, Švec JG (2017) Effects of turbulence in FE model of human vocal folds self-oscillation. In: Fuis V, editors. Engineering Mechanics 2017. Brno: Brno University of Technology, Institute of Solid Mechanics, Mechatronics and Biomechanics. pp. 366-369.
  142. Subbaraj PK, Švec JG (2017) Kinematic model for simulating mucosal wave phenomena on vocal folds. In: Manfredi C, editors. Proceedings MAVIBA 2017: Models and analysis of

- vocal emissions for biomedical applications. 10th international workshop, December 13-15, 2017. Firenze, Italy: Firenze University Press. pp. 115-118.
143. Andrade PA, Wood G, Ratcliffe P, Epstein R, Pijper A, Švec JG (2014) Electroglottographic study of seven semi-occluded exercises: LaxVox, straw, lip and tongue trills, humming, hand over mouth and tongue trill combined with hand over mouth. *J Voice* 28: 589-595.
  144. Andrade PA, Wistbacka G, Larsson H, Södersten M, Hammarberg B, Simberg S, Švec JG, Granqvist S (2016) The flow and pressure relationships in different tubes commonly used for semi-occluded vocal tract exercises. *J Voice* 30: 36-41.
  145. Wistbacka G, Andrade PA, Simberg S, Hammarberg B, Södersten M, Švec JG, Granqvist S (2018) Resonance tube phonation in water - the effect of tube diameter and water depth on back pressure and bubble characteristics at different airflows. *J Voice* 32: 126.e11-126.e22.
  146. Chrobok V, Pellant A, Šram F, Frič M, Praisler J, Prymula R, Švec JG (2008) Medialization thyroplasty with a customized silicone implant: Clinical experience. *Folia Phoniatr Logop* 60: 91-96.
  147. Kunduk M, Döllinger M, McWhorter AJ, Švec JG, Lohscheller J (2012) Vocal fold vibratory behavior changes following surgical treatment of polyps investigated with high-speed video endoscopy and phonovibrography. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 121: 355-363.
  148. Kumar SP, Phadke KV, Vydrová J, Novozámský A, Zita A, Zitová B, Švec JG (2018, early online) Visual and automatic evaluation of vocal fold mucosal waves through sharpness of lateral peaks in high-speed videokymographic images. *J Voice* <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.08.022>.
  149. Švec JG, Šram F (2006) Voice research and treatment in the Czech republic. *ASHA Leader* 11: 30-31.
  150. Švec JG (2006) Tajemství hlasu. Univerzita Palackého v Olomouci. 59 p.
  151. Švec JG, Behlau M (2007) April 16th: The World Voice Day. *Folia Phoniatr Logop* 59: 53-54.
  152. Horáček J, Švec J (2008) Modelování lidského hlasu: využití v klinické praxi i při zpěvu. *Vesmír* 87: 833-835.
  153. Švec JG (2008) World Voice Day. *Logoped Phoniatr Vocol* 33: 2.
  154. Švec JG (2008) World Voice Day. *Folia Phoniatr Logop* 60: 57.
  155. Švec JG, Šram F, Vydrová J (2009) 16. duben: Světový den hlasu. *Otorinolaryngol (Prague)* 58: 152-155.
  156. Švec JG, Šram F, Vydrová J (2009) Zpráva: 16.duben - Světový den hlasu. *Otorinolaryngol (Prague)* 58: 7.
  157. Švec JG (2013) Advances in laryngoscopy: videokymography, high-speed imaging and more. *The Voice Foundation Newsletter*: 7-8.
  158. Babington BG (1829) Description of the glottoscope. *London Medical Gazette* 3: 555.
  159. Zeitels SM, de Alarcon A (2010) The history of laryngeal imaging. In: Kendall KA, Leonard RJ, editors. *Laryngeal evaluation: Indirect laryngoscopy to high-speed digital imaging*. New York: Thieme. pp. 3-17.
  160. Garcia M (1855) Observations on the human voice. *Proc R Soc London 1854-1855*: 399-410.
  161. Moore P (1991) Voice: a historical perspective. A short history of laryngeal investigation. *J Voice* 5: 166-281.
  162. Czermak JN (1858) Über den Kehlkopfspiegel. *Wiener Med Wochenschrift* 7: 196-198.
  163. Čermák JN (1862) Ohledání dutiny hrtanové a nosové pomocí nástrojů laryngoskopických a rhinoskopických vzhledem k patologii těchto částí. *Čas Lék Čes* .
  164. Kiml, Josef (1963) *Neurodynamické poruchy hlasu. Dysphoniae et aphoniae functionales*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství.
  165. Sawashima M, Hirose H (1968) New laryngoscopic technique by use of fiber optics. *J Acoust Soc Am* 43: 168-170.



166. Yanagisawa E (1987) Fiberscopic and telescopic videolaryngoscopy - a comparative study. In: Baer T, Sasaki C, Harris KS, editors. Laryngeal function in phonation and respiration. Boston/Toronto/San Diego: A College-Hill Press, Little, Brown and Company. pp. 475-484.
167. Bless DM, Hirano M, Feder RJ (1987) Videostroboscopic evaluation of the larynx. *Ear Nose Throat J* 66: 289-296.
168. Hirano, M. and Bless, Diane M. (1993) Videostroboscopic examination of the larynx. San Diego, California: Singular Publishing Group.
169. Cornut G, Bouchayer M (2004) Assessing dysphonia: the role of video stroboscopy. An interactive video textbook. Lincoln Park, NJ: Kay Elemetrics Corp.
170. Böhme G, Gross M (2005) Stroboscopy. London, England/Philadelphia, PA, USA: Whurr Publishers.
171. Seeman M (1921) Laryngostroboskopische Untersuchungen bei einseitiger Rekurrenzlähmung. *Z Ohrenheilk* 55: 621.
172. Sovák M (1945) Stroboskopický výzkum hlasové pathologie. Studie o poruchách fonačního mechanismu. Praha: i Česká akademie věd a umění.
173. Sovák M (1945) Kmitání hlasivek ve světle laryngostroboskopie. Praha: Česká akademie věd a umění.
174. Farnsworth DW (1940) High-speed motion pictures of the human vocal cords. *Bell Lab Record* 18: 203-208.
175. Rubin HJ, LeCover M (1960) Technique of high speed photography of the larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 69(4): 1072-1083.
176. Moore GP, White FD, von Leden H (1962) Ultra high speed photography in laryngeal physiology. *J Speech Hear Disord* 27: 165-171.
177. Berg van den Jw (1964) High-speed photography and stroboscopy. In: Brewer DW, editors. Research potentials in voice physiology. Syracuse, NY: State University of New York. pp. 145-150.
178. Hiroto I (1968) Vibration of vocal cords: an ultra high-speed cinematographic study. (Film). Kurume, Japan: Department of otolaryngology, Kurume University.
179. Hirano M, Yoshida Y, Matsushita H, Nakajima T (1974) An apparatus for ultra high speed cinematography of the vocal cords. *Ann Otol* 83: 12-18.
180. Kiritani S, Honda K, Imagawa H, Hirose H (1986) Observation of pathological vocal fold vibrations using a high-speed digital image recording system. In: Logopedics and phoniatics: issues for future research. Proceedings of the XXth Congress of the International Association of Logopedics and Phoniatics, 3rd-7th August, 1986, Tokyo, Japan. Tokyo, Japan: Organizing Committee of the XXth Congress of the International Association of Logopedics and Phoniatics. pp. 338-339.
181. Honda K, Kiritani S, Imagawa H, Hirose H (1987) High-speed digital recording of vocal fold vibrations using a solid-state image sensor. In: Baer T, Sasaki C, Harris KS, editors. Laryngeal function in phonation and respiration. Boston/Toronto/San Diego: A College-Hill Press, Little, Brown and Company. pp. 485-491.
182. Hirose H, Kiritani S, Imagawa H (1988) High-speed digital image analysis of laryngeal behavior in running speech. In: Fujimura O, editors. Vocal physiology: voice production, mechanisms and functions. New York: Raven Press. pp. 335-345.
183. Kiritani S, Imagawa H, Hirose H (1988) High-speed digital image recording for the observation of vocal cord vibration. In: Fujimura O, editors. Vocal physiology: voice production, mechanisms, and functions. New York: Raven Press. pp. 261-269.
184. Wittenberg T, Friedl S, Völlinger H, Heppner W (2005) Hochgeschwindigkeitskameras für die Stimmidiagnose - Status Quo und neue Perspektiven. High Speed Cameras for Voice Diagnosis - Status Quo and New Perspectives. (In German). *Sprache - Stimme - Gehör* 29: 29-34.

185. Deliyski D (2010) Laryngeal high-speed videoendoscopy. In: Kendall KA, Leonard RJ, editors. Laryngeal evaluation: Indirect laryngoscopy to high-speed digital imaging. New York: Thieme. pp. 245-270.
186. Kay Pentax (2010) Kay Pentax Color High Speed Video System 9710.
187. Kendall, K. A. and Leonard, R. J. (2010) Laryngeal evaluation: Indirect laryngoscopy to high-speed digital imaging. New York: Thieme.
188. Kaneko K, Sakaguchi K, Inoue M, Takahashi H (2012) Low-cost high-speed imaging system for observing vocal fold vibration in voice disorders. *J Otorhinolaryngol Relat Spec* 74: 208-210.
189. Kendall KA (2012) High-speed digital imaging of the larynx: recent advances. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 20: 466-471.
190. Patel RR (2013) Stroboscopy versus high-speed laryngeal imaging. *The Voice Foundation Newsletter*: 5-6.
191. Hertegard S, Larsson H (2014) A portable high-speed camera system for vocal fold examinations. *J Voice* 28: 681-687.
192. Izdebski K, Yan Y, Wong BJE, Cruz RM (2015) Normal and abnormal vocal folds kinematics. High-speed digital phonoscopy (HSDP), optical coherence tomography (OCT) & narrow band imaging (NBI®). Volume I: Technology.
193. Deliyski DD, Hillman RE, Mehta DD (2015) Laryngeal high-speed videoendoscopy: Rationale and recommendation for accurate and consistent terminology. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 58: 1488-1492.
194. Gall V, Gall D, Hanson J (1971) Larynx-Fotokymografie. [Larynx-Photokymography]. *Arch klin exp Ohr-, Nas- u Kehlk Heilk* 200: 34-41.
195. Gall V, Hanson J (1973) Bestimmung physikalischer Parameter der Stimmlippenschwingungen mit Hilfe der Larynxphotokymographie. [Finding physical parameters of vocal cord vibration by use of laryngeal photokymography]. (In German). *Folia Phoniatr (Basel)* 25: 450-459.
196. Gall V, Freigang C (1974) Zur Larynx-Fotokymografie: Demonstration einiger pathologischer Kehlkopf-Befunde. *Mschr Ohr Hk (Wien)* 108: 114-122.
197. Gall V (1978) Fotokymografische Befunde bei funktionellen Dysphonien, Kehlkopflähmungen und Stimmlippen-tumoren [Photokymographic statements in functional voice disorders, laryngeal paralysis and vocal cord tumors]. *Folia Phoniatr (Basel)* 30: 28-35.
198. Gall V (1984) Strip kymography of the glottis. *Arch Otorhinolaryngol* 240: 287-293.
199. Gall V (1984) Glottis-Kymographie. (Habilitation). Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität.
200. Gross M (1985) Larynxfotokymographie. *Sprache - Stimme - Gehör* 9: 112-113.
201. Gross M (1988) Endoskopische Larynx-Fotokymografie. Bingen, Germany: Renate Gross Verlag.
202. Schultz-Coulon H-J, Klingholz F (1988) Objektive und semiobjektive Untersuchungsmethoden der Stimme. In: Kittel G, Schürenberg B, editors. *Proceedings of the XVth Congress of the Union of the European Phoniaticians, Erlangen 1988*. pp. 1-87.
203. Schultz-Coulon H-J (1990) Mikrofotokymographie des Kehlkopfes. *Sprache - Stimme - Gehör* 14: 4-10.
204. Baken RJ, Orlikoff RF (2000) *Clinical measurement of speech and voice*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
205. Titze IR (2000) *Principles of voice production (second printing)*. Iowa City, IA: National Center for Voice and Speech.
206. Qiu Q, Schutte HK (2006) A new generation videokymography for routine clinical vocal-fold examination. *Laryngoscope* 116: 1824-1828.

207. Qiu Q, Schutte HK (2007) Real-time kymographic imaging for visualizing human vocal-fold vibratory function. *Rev Sci Instrum* 78: Art. No. 024302.
208. Berg van den Jw (1958) Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *J Speech Hear Res* 3: 227-244.
209. Titze IR (1980) Comments on the myoelastic - aerodynamic theory of phonation. *J Speech Hear Res* 23: 495-510.
210. Titze IR (2006) The myoelastic aerodynamic theory of phonation. Denver CO and Iowa City IA: National Center for Voice and Speech.
211. Titze IR (1988) The physics of small-amplitude oscillation of the vocal folds. *J Acoust Soc Am* 83: 1536-1552.
212. Górová S (2017) Měření rezonančních vlastností struny. (Výzkumná středoškolská práce v rámci projektu Badatel). Olomouc: Slovanské gymnázium.
213. Šram F, Švec J, Kadlecová V (1999) Závěrečná zpráva projektu Eureka EU 723 Artificial Larynx. Praha: Medical Healthcom, s.r.o.
214. Titze IR (1988) Regulation of vocal power and efficiency by subglottal pressure and glottal width. In: Fujimura O, editors. *Vocal physiology: voice production, mechanisms and functions*. New York: Raven Press. pp. 227-238.
215. Södersten M, Hertegard S, Hammarberg B (1995) Glottal closure, transglottal airflow, and voice quality in healthy middle-aged women. *J Voice* 9: 182-197.
216. Isshiki N (1980) Recent advances in phonosurgery. *Folia Phoniatr (Basel)* 32: 119-154.
217. Isshiki N (1982) Mechanical factors responsible for hoarseness. In: Hurme P, editors. *Vox Humana. Studies presented to Aato Sonninen on the occasion of his sixtieth birthday, December 24, 1982*. Jyväskylä: Institute of Finnish Language and Communication, University of Jyväskylä. pp. 94-102.
218. Fuks L (1999) From air to music: acoustical, physiological and perceptual aspects of reed wind instrument playing and vocal-ventricular fold phonation. (Doctoral dissertation). Stockholm: Department of Speech, Music and Hearing, KTH (Royal Institute of Technology).
219. Lindestad PA, Södersten M, Merker B, Granqvist S (2001) Voice source characteristics in Mongolian "throat singing" studied with high-speed imaging technique, acoustic spectra, and inverse filtering. *J Voice* 15: 78-85.
220. Borch DZ, Sundberg J, Lindestad P-A, Thalén M (2004) Vocal fold vibration and voice source aperiodicity in 'dist' tones: a study of a timbral ornament in rock singing. *Logoped Phoniatr Vocol* 29: 147-153.
221. Edgerton ME (2004) *The 21st-century voice: Contemporary and traditional extra-normal voice*. Lanham, Maryland/Toronto/Oxford: Scarecrow Press.
222. Neubauer J, Edgerton M, Herzel H (2004) Nonlinear phenomena in contemporary vocal music. *J Voice* 18: 1-12.
223. Sakakibara K-I, Fuks L, Imagawa H, Tayama N (2004) Growl voice in ethnic and pop styles. In: *Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, March 31st to April 3rd 2004 (ISMA2004)*, NARA, Japan. pp. 1-4.
224. Sadolin C (2012) *Complete vocal technique*. Copenhagen, Denmark: Complete Vocal Institute.
225. Caffier PP, Nasr AI, Rendon MdMR, Wienhausen S, Forbes E, Seidner W, Nawka T (2018) Common Vocal Effects and Partial Glottal Vibration in Professional Nonclassical Singers. *J Voice* 32: 340-346.
226. Herbst CT, Hertegard S, Zangger-Borch D, Lindestad PA (2017) Freddie Mercury-acoustic analysis of speaking fundamental frequency, vibrato, and subharmonics. *Logoped Phoniatr Vocol* 42: 29-38.
227. Hampala V (2011) *Vizuální hodnocení videokymografických snímků u hlasových poruch. [Visual evaluation of videokymographic features in voice disorders]* (M.Sc. Thesis, in

- Czech). Olomouc, Czech Republic: Department of Experimental Physics, Faculty of Science, Palacky University Olomouc.
228. Malá Z (2013) Kmitání hlasivek při jednostranné poruše inervace hrtanu: analýza videokymografických snímků (Bakalářská práce). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra biofyziky.
  229. Malá Z (2015) Kmitání hlasivek při jednostranné poruše inervace hrtanu před a po medializační tyreoplastické operaci: videokymografické nálezy. (Diplomová práce). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra biofyziky.
  230. Sedlák J (2012) Image analysis in microscopy and videokymography. (PhD Dissertation). Prague, Czech Republic: Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics.
  231. Isogai Y (1996) Analysis of the vocal fold vibration by the laryngo-strobography--improvements of the analytic function. (In Japanese). *Larynx Jpn* 8: 27-32.
  232. Isogai Y (1996) Laryngostroboscopy--observation of the travelling wave of the mucous membrane. (In Japanese). *Larynx Jpn* 8: 84-91.
  233. Sung MW, Kim KH, Koh T-Y, Kwon T-Y, Mo J-H, Choi SH, Lee JS, Park KS, Kim EJ, Sung MY (1999) Videostrobokymography: a new method for the quantitative analysis of vocal fold vibration. *Laryngoscope* 109: 1859-1863.
  234. Kim DY, Kim LS, Kim KH, Sung MW, Roh JL, Kwon TK, Lee SJ, Choi SH, Wang SG, Sung MY (2003) Videostrobokymographic analysis of benign vocal fold lesions. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 123: 1102-1109.
  235. Wittenberg T (1997) Automatic motion extraction from laryngeal kymograms. In: Wittenberg T, Mergell P, Tigges M, Eysholdt U, editors. *Advances in Quantitative Laryngoscopy. Proceedings of the 2nd 'Round Table' Advances in Quantitative Laryngoscopy using Motion-, Image- and Signal Analysis*, Erlangen 1997. Abteilung Phoniatrie, Universitäts-HNO-Klinik Göttingen, Germany. pp. 21-28.
  236. Larsson H, Hertegard S, Lindestad PA, Hammarberg B (2000) Vocal fold vibrations: high-speed imaging, kymography, and acoustic analysis: a preliminary report. *Laryngoscope* 110: 2117-2122.
  237. Wittenberg T, Tigges M, Mergell P, Eysholdt U (2000) Functional imaging of vocal fold vibration: digital multislice high-speed kymography. *J Voice* 14: 422-442.
  238. Hertegard S, Larsson H, Wittenberg T (2003) High-speed imaging: applications and development. *Logoped Phoniatr Vocol* 28: 133-139.
  239. Švec J, Dršata J, Holý R (2011) Optická vyšetření. In: Dršata J, a kol., editors. *Foniatrie - hlas*. Havlíčkův Brod: Tobiáš. pp. 64-73.
  240. Woo P (2014) Objective measures of laryngeal imaging: What have we learned since Dr. Paul Moore. *J Voice* 28: 69-81.
  241. Nawka T (2005) Videostrobokymographie.
  242. DiagNova (2014) DiagnoScope - voice analysis and video recording environment.
  243. Krasnodebska P, Szkielkowska A, Miaskiewicz B, Skarzynski H (2017) Characteristics of Euphony in Direct and Indirect Mucosal Wave Imaging Techniques. *J Voice* 31: 383.e13-383.e18.
  244. Wittenberg T, Moser M, Tigges M, Eysholdt U (1995) Recording, processing, and analysis of digital high-speed sequences in glottography. *Mach Vis Appl* 8: 399-404.
  245. Köster O, Marx B, Gemmar P, Hess MM, Künzel HJ (1999) Qualitative and quantitative analysis of voice onset by means of a multidimensional voice analysis system (MVAS) using high-speed imaging. *J Voice* 13: 355-374.
  246. Granqvist S, Lindestad PA (2001) A method of applying Fourier analysis to high-speed laryngoscopy. *J Acoust Soc Am* 110: 3193-3197.
  247. Deliyski D, Petrushev P (2003) Methods for objective assessment of high-speed videoendoscopy. In: Schade G, Müller F, Wittenberg T, Hess M, editors. *AQL 2003*

- Hamburg: Proceeding Papers for the Conference Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research. (CD ROM). Stuttgart, Germany: IRB Verlag. pp. 1-16.
248. Yan Y, Ahmad K, Kunduk M, Bless D (2005) Analysis of vocal-fold vibrations from high-speed laryngeal images using a Hilbert transform-based methodology. *J Voice* 19: 161-175.
  249. Lohscheller J, Toy H, Rosanowski F, Eysholdt U, Döllinger M (2007) Clinically evaluated procedure for the reconstruction of vocal fold vibrations from endoscopic digital high-speed videos. *Med Image Anal* 11: 400-413.
  250. Zhang Y, Jiang JJ, Tao C, Bieging E, MacCallum JK (2007) Quantifying the complexity of excised larynx vibrations from high-speed imaging using spatiotemporal and nonlinear dynamic analyses. *Chaos* 17: 043114. doi: 10.1063/1.2784384.
  251. Braunschweig T, Flaschka J, Schelhom-Neise P, Dollinger M (2008) High-speed video analysis of the phonation onset, with an application to the diagnosis of functional dysphonias. *Med Eng Phys* 30: 59-66.
  252. Osma-Ruiz V, Godino-Llorente JI, Saenz-Lechon N, Fraile R (2008) Segmentation of the glottal space from laryngeal images using the watershed transform. *Comput Med Imaging Graph* 32: 193-201.
  253. Yiu EML, Kong JP, Fong R, Chan KMK (2010) A preliminary study of a quantitative analysis method for high speed laryngoscopic images. *International Journal of Speech-Language Pathology* 12: 520-528.
  254. Mehta DD, Deliyski DD, Quatieri TF, Hillman RE (2011) Automated measurement of vocal fold vibratory asymmetry from high-speed videoendoscopy recordings. *J Speech Lang Hear Res* 54: 47-54.
  255. Karakozoglou S-Z, Henrich N, d'Alessandro C, Stylianou Y (2012) Automatic glottal segmentation using local-based active contours. *Speech Commun* 54: 641-654.
  256. Krausert CR, Liang Y, Zhang Y, Rieves AL, Geurink KR, Jiang JJ (2012) Spatiotemporal analysis of normal and pathological human vocal fold vibrations. *American Journal of Otolaryngology - Head and Neck Medicine and Surgery* 33: 641-649.
  257. Pinheiro AP, Dajer ME, Hachiya A, Montagnoli AN, Tsuji D (2014) Graphical evaluation of vocal fold vibratory patterns by high-speed videolaryngoscopy. *J Voice* 28: 106-111.
  258. Andrade-Miranda G, Godino-Llorente JI, Moro-Velázquez L, Gómez-García JA (2015) An automatic method to detect and track the glottal gap from high speed videoendoscopic images. *BioMedical Engineering Online* 14: Art. no. 100.
  259. Birkholtz P (2016) Glottalimageexplorer - an open source tool for glottis segmentation in endoscopic high-speed videos of the vocal folds. In *Studientexte zur Sprachkommunikation*. In: Jokisch O, editors. *Studientexte zur Sprachkommunikation: Elektronische Sprachsignalverarbeitung*. Dresden: TUDPress.
  260. Andrade-Miranda, G. X. (2017) *Analyzing the Vocal Folds Dynamics Using Laryngeal High-Speed Videos*. (Doctoral Dissertation). Universidad Politécnica de Madrid.
  261. Tigges M, Wittenberg T, Mergell P, Eysholdt U (1999) Imaging of vocal fold vibration by digital multi-plane kymography. *Comput Med Imaging Graph* 23: 323-330.
  262. Kastner J, Záborský M, Astl J, Zvěřina E, Lukeš P, Betka J (2009) Videokymografie a digitální kymografie, kymografické nálezy u pacientů po thyreoidektomii. [Videokymography and digital kymography, kymographic findings in patients after thyroidectomy]. (In Czech). *Endoskopie* 18: 64-66.
  263. Timcke R (1956) Die synchron-stroboskopie von menschlichen stimmlippen bzw. ähnlichen Schallquellen und Messung der Öffnungszeit. *Zeitschrift für Laryngologie und Rhinologie* 35: 331-335.
  264. Moore P, von Leden H (1958) Dynamic variations of the vibratory pattern in the normal larynx. *Folia Phoniatr (Basel)* 10: 205-238.
  265. Timcke R, von Leden H, Moore P (1958) Laryngeal vibrations: measurements of the glottic wave. I. The normal vibratory cycle. *AMA Arch Otolaryngol* 68: 1-19.

266. Hirano, M. (1981) *Clinical examination of voice*. Wien, Austria: Springer-Verlag.
267. Fritzell B (1996) Voice disorders and occupations. *Logoped Phoniatr Vocol* 21: 7-12.
268. Smith E, Lemke J, Taylor M, Kirchner L, Hoffman H (1998) Frequency of voice problems among teachers and other occupations. *J Voice* 12: 480-488.
269. Simberg S, Laine A, Sala E, Ronnema AM (2000) Prevalence of voice disorders among future teachers. *J Voice* 14: 231-235.
270. Roy N, Merrill RM, Thibeault S, Parsa RA, Gray SD, Smith EM (2004) Prevalence of voice disorders in teachers and the general population. *J Speech Lang Hear Res* 47: 281-293.
271. de Jong FI, Kooijman PG, Thomas G, Huinck WJ, Graamans K, Schutte HK (2006) Epidemiology of voice problems in Dutch teachers. *Folia Phoniatr Logop* 58: 186-198.
272. Sliwinska-Kowalska M, Niebudek-Bogusz E, Fiszer M, Los-Spychalska T, Kotylo P, Sznurowska-Przygocka B, Modrzewska M (2006) The prevalence and risk factors for occupational voice disorders in teachers. *Folia Phoniatr Logop* 58: 85-101.
273. Matějková M, Mrázková E, Richterová K, Sachová P, Janout V (2012) Hlasové potíže obyvatel Moravskoslezského kraje. *Pracovní Lékařství* 64: 78-85.
274. Ohlsson A-C, Brink O, Löfqvist A (1989) A voice accumulator--validation and application. *J Speech Hear Res* 32: 451-457.
275. Masuda T, Ikeda Y, Manako H, Komiyama S (1993) Analysis of vocal abuse: fluctuations in phonation time and intensity in 4 groups of speakers. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 113: 547-552.
276. Jonsdottir V, Rantala L, Laukkanen A-M, Vilkman E (2001) Effects of sound amplification on teachers' speech while teaching. *Logoped Phoniatr Vocol* 26: 118-123.
277. Szabo A, Hammarberg B, Hakansson A, Södersten M (2001) A voice accumulator device: evaluation based on studio and fields recordings. *Logoped Phoniatr Vocol* 26: 102-117.
278. Rantala L, Vilkman E, Bloigu R (2002) Voice changes during work: subjective complaints and objective measurements for female primary and secondary schoolteachers. *J Voice* 16: 344-355.
279. Södersten M, Granqvist S, Hammarberg B, Szabo A (2002) Vocal behavior and vocal loading factors for preschool teachers at work studied with binaural DAT recordings. *J Voice* 16: 356-371.
280. Granqvist S (2003) The self-to-other ratio applied as a phonation detector for voice accumulation. *Logoped Phoniatr Vocol* 28: 71-80.
281. Rantala L, Vilkman E (1999) Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers' voices. *J Voice* 13: 484-495.
282. Hunter EJ, Titze IR (2009) Quantifying Vocal Fatigue Recovery: Dynamic Vocal Recovery Trajectories After a Vocal Loading Exercise. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 118: 449-460.
283. Švec JG, Popolo PS, Titze IR (2003) The Goldilocks passage and scripts for frequency extraction, voicing detection, SPL calculation and vocal dose determination in speech. *NCVS Online Technical Memo No.1*, April 2003: 1-18.
284. Kumar SP, Švec JG (2018) A simple method to obtain basic acoustic measures as video subtitles in laryngeal videoendoscopic recordings. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 61: 2196-2204.
285. Halpern AE, Spielman JL, Hunter EJ, Titze IR (2009) The inability to produce soft voice (IPSV): A tool to detect vocal change in school-teachers. *Logoped Phoniatr Vocol* 34: 117-127.
286. Nix J, Švec JG, Laukkanen A-M, Titze IR (2007) Protocol challenges for on-the-job voice dosimetry of teachers in the United States and Finland. *J Voice* 21: 385-396.
287. Titze IR, Hunter EJ (2009) Talk is not cheap. *Voice and Speech Review* 6: 389-392.
288. Hunter EJ, Titze IR (2010) Variations in intensity, fundamental frequency, and voicing for teachers in occupational versus nonoccupational settings. *J Speech Lang Hear Res* 53: 862-875.

289. Cheyne HA, Hanson HM, Genereux RP, Stevens KN, Hillman RE (2003) Development and testing of a portable vocal accumulator. *J Speech Lang Hear Res* 46: 1457-1467.
290. Hillman R, Cheyne H (2003) Development of a portable voice monitor with biofeedback capability. *Perspectives on Voice and Voice Disorders* 13: 23-25.
291. Szabo A, Hammarberg B, Granqvist S, Södersten M (2003) Methods to study pre-school teachers' voice at work: simultaneous recordings with a voice accumulator and a DAT recorder. *Logoped Phoniatr Vocol* 28: 29-39.
292. Hillman RE, Heaton JT, Masaki A, Zeitels SM, Cheyne HA (2006) Ambulatory monitoring of disordered voices. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 115: 795-801.
293. Wingate, J. M., Morrow, S. L., Connor, N. P., Gaskill, C. S., Cowgirl, J. G., Barkmeier-Kraemer, J., Calcinoni, O., Jette, M., Hillman, R. E., Södersten, Maria, Hertegard, S., Larsson, H., and Holmberg, E. B. (2009) Ambulatory phonation monitor: Applications for speech and voice. Lincoln Park, NJ, USA: Kay Pentax.
294. Hillman RE, Mehta DD (2011) Ambulatory monitoring of daily voice use. *Perspectives on Voice and Voice Disorders* 21: 56-61.
295. Lindstrom F, Waye KP, Sodersten M, McAllister A, Ternstrom S (2011) Observations of the relationship between noise exposure and preschool teacher voice usage in day-care center environments. *J Voice* 25: 166-172.
296. Schloneger MJ (2011) Graduate student voice use and vocal efficiency in an opera rehearsal week: A case study. *J Voice* 25: e256-e273.
297. [Anonymous] (2012) VoxLog TM.
298. Bottalico P, Astolfi A (2012) Investigations into vocal doses and parameters pertaining to primary school teachers in classrooms. *J Acoust Soc Am* 131: 2817-2827.
299. Carullo A, Penna A, Vallan A, Astolfi A, Bottalico P (2012) A portable analyzer for vocal signal monitoring. In: 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, I2MTC 2012; Graz; 13 May 2012 through 16 May 2012. pp. 2206-2211.
300. Mehta DD, Listfield RW, Cheyne HA, Heaton JT, Feng SW, et al. (2012) Duration of ambulatory monitoring needed to accurately estimate voice use. In: 13th Annual Conference of the International Speech Communication Association 2012, INTERSPEECH 2012, Portland, OR, United States; 9 September 2012 through 13 September 2012, Volume 2. pp. 1334-1337.
301. Carullo A, Vallan A, Astolfi A (2013) Design issues for a portable vocal analyzer. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 62: 1084-1093.
302. Gaskill CS, Cowgirl JG, Many S (2013) Comparing the vocal dose of university students from vocal performance, music education, and music theater. *J Singing* 70: 11-19.
303. Whitling, S. (2016) Vocal Loading and Recovery. (Doctoral Dissertation). Lund, Sweden: Lund University, Faculty of Medicine.
304. Schloneger MJ, Hunter EJ (2017) Assessments of Voice Use and Voice Quality Among College/University Singing Students Ages 18-24 Through Ambulatory Monitoring With a Full Accelerometer Signal. *J Voice* 31: Article Number: UNSP 124.e21.
305. Smith AG, Sandage MJ, Pascoe DD, Plexico LW, Lima IR, Cao G (2017) Elementary school teachers' vocal dose: Muscle bioenergetics and training implications. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 60: 1831-1842.
306. Deliyski DD, Shaw HS, Evans MK, Vesselinov R (2006) Regression tree approach to studying factors influencing acoustic voice analysis. *Folia Phoniatr Logop* 58: 274-288.
307. Perry CK, Ingrisano DR, Palmer MA, McDonald EJ (2000) Effects of environmental noise on computer-derived voice estimates from female speakers. *J Voice* 14: 146-153.
308. Dunn HK, Farnsworth DW (1939) Exploration of pressure field around the human head during speech. *J Acoust Soc Am* 10: 184-199.

309. Marshall AH, Meyer J (1985) The directivity and auditory impressions of singers. *Acustica* 58: 130-140.
310. Cabrera D, Davis P, Barnes J, Jacobs M, Bell D (2002) Recording the operatic voice for acoustic analysis. *Acoustics Australia* 30: 103-108.
311. Cabrera D, Davis PJ, Connolly A (2011) Long-term horizontal vocal directivity of opera singers: effects of singing projection and acoustic environment. *J Voice* 25: e291-e303.
312. Schutte HK, Seidner W (1983) Recommendation by the Union of European Phoniaticians (UEP): standardizing voice area measurement/phonetography. *Folia Phoniatr (Basel)* 35: 286-288.
313. Brüel & Kjaer (1984) *Measuring sound*. Naerum, Denmark: Brüel & Kjaer.
314. Benninger MS, Ahuja AS, Gardner G, Grywalski C (1998) Assessing outcomes for dysphonic patients. *J Voice* 12: 540-550.
315. Hogikyan ND, Sethuraman G (1999) Validation of an instrument to measure voice-related quality of life (V-RQOL). *J Voice* 13: 557-569.
316. Ma EPM, Yiu EML (2001) Voice activity and participation profile: assessing the impact of voice disorders on daily activities. *J Speech Lang Hear Res* 44: 511-524.
317. Deary IJ, Wilson JA, Carding PN, MacKenzie K (2003) VoiSS. A patient-derived Voice Symptom Scale. *J Psychosom Res* 54: 483-489.
318. Deary IJ, Webb A, MacKenzie K, Wilson JA, Carding PN (2004) Short, self-report voice symptom scales: psychometric characteristics of the Voice Handicap Index-10 and the Vocal Performance Questionnaire. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 131: 232-235. DOI 10.1016/j.otohns.2004.02.048.
319. Rasch T, Gunther S, Hoppe U, Eysholdt U, Rosanowski F (2005) Voice-related quality of life in organic and functional voice disorders. *Logoped Phoniatr Vocol* 30: 9-13.
320. Carding PN (2009) Measuring voice outcomes: State of the science review. *J Laryngol Otol* 123: 823-828.
321. Jacobson BH, Zraick RI (2011) Patient-reported outcomes in voice disorders. In: Ma EPM, Yiu EML, editors. *Handbook of Voice Assessments*. San Diego, CA: Plural Publishing. pp. 331-351.
322. Jacobson BH, Johnson A, Grywalski C, Silbergleit AK, Jacobson GP, Benninger MS, Newman CW (1997) The voice handicap index (VHI): development and validation. *Am J Speech Lang Pathol* 6: 66-70.
323. Dejonckere PH, Bradley P, Clemente P, Cornut G, Crevier-Buchman L, Friedrich G, Van de Heyning P, Remacle M, Woisard V, Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS) (2001) A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS). *Eur Arch Otorhinolaryngol* 258: 77-82.
324. Kempster GB, Gerratt BR, Abbott KV, Barkmeier-Kraemer J, Hillman RE (2009) Consensus Auditory-Perceptual Evaluation of Voice: Development of a Standardized Clinical Protocol. *Am J Speech Lang Pathol* 18: 124-132. DOI 10.1044/1058-0360(2008/08-0017).



## Seznam publikací přiložených k práci

- Publikace č. I:** Švec JG, Schutte HK: Videokymography: high-speed line scanning of vocal fold vibration. *Journal of Voice*, 10(2): 201-205 (1996). [IF 0.438] (Počet citací WOS/Scopus: 174/210, z toho autocitací WOS/Scopus: 19/21)
- Publikace č. II:** Švec JG, Šram F, Schutte HK: Videokymografie: nová vysokofrekvenční metoda vyšetřování kmitů hlasivek. *Otorinolaryngologie a foniatrie*, 48(3): 155-162 (1999). (Počet citací WOS/Scopus: -/14, z toho autocitací WOS/Scopus: -/1)
- Publikace č. III:** Švec JG, Schutte HK, Šram F: Variability of vibration of normal vocal folds as seen in videokymography. In: Dejonckere PH, Peters HFM (Eds.): *Communication and Its Disorders: A Science In Progress. Proceedings 24th Congress International Association of Logopedics and Phoniatics, Amsterdam, the Netherlands, August, 23-27, 1998. Vol.I.* International Association of Logopedics and Phoniatics [ISBN: 90 5710 071 1]: 122-125 (1999). (Počet citací WOS/Scopus: neevidován)
- Publikace č. VI:** Švec JG, Šram F, Schutte HK: Videokymography in voice disorders: What to look for? *Annals of Otology Rhinology and Laryngology* 116 (3):172-180 (2007). [IF 1.237] (Počet citací WOS/Scopus: 84/91, z toho autocitací WOS/Scopus: 13/16)
- Publikace č. V:** Švec JG, Šram F: Videokymographic examination of voice. In: *Handbook of Voice Assessments*, edited by E. P. M. Ma and E. M. L. Yiu, San Diego, CA: Plural Publishing [ISBN: 978-1-59756-364-2]: 129-146 (2011). (Počet citací WOS/Scopus: neevidován)
- Publikace č. VI:** Švec JG, Schutte HK: Kymographic imaging of laryngeal vibrations. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery* 20(6): 458-465 (2012). [IF 1.826]. (Počet citací WOS/Scopus: 24/27, z toho autocitací WOS/Scopus: 5/6)
- Publikace č. VII:** Lohscheller J, Švec JG, Döllinger M: Vocal-fold vibration amplitude, open quotient, speed quotient and their variability along glottal length: Kymographic data from normal subjects. *Logopedics Phoniatics Vocology* 38(4): 182-192 (2013). [IF 0.571]. (Počet citací WOS/Scopus: 32/35, z toho autocitací WOS/Scopus: 5/4)
- Publikace č. VIII:** Phadke KV, Vydrová J, Domagalská R, Švec JG: Evaluation of clinical value of videokymography for diagnosis and treatment of voice disorders. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 274(11): 3941-3949 (2017). [IF 1.66] (Počet citací WOS/Scopus: -/3, z toho autocitací WOS/Scopus: -/2)
- Publikace č. IX:** Titze IR, Švec JG, Popolo PS: Vocal dose measures: quantifying accumulated vibration exposure in vocal fold tissues. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46(4): 919-932 (2003). [IF 1.431] (Počet citací WOS/Scopus: 96/122, z toho autocitací WOS/Scopus: 5/6)
- Publikace č. X:** Švec JG, Popolo PS, Titze IR: Measurement of vocal doses in speech: experimental procedure and signal processing. *Logopedics Phoniatics Vocology*, 28(4): 181-192 (2003). (Počet citací WOS/Scopus: -/53, z toho autocitací WOS/Scopus: -/5)

- Publikace č. XI:** Švec JG, Titze IR, Popolo PS: Vocal dosimetry: theoretical and practical issues. In: Schade G., Müller F., Wittenberg T., and Hess M. (Eds.): *AQL 2003 Hamburg: Proceeding Papers for the Conference Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research* [CD ROM, ISBN: 3-8167-6285-9]. IRB Verlag, Stuttgart, Germany: 8p (2003). (Počet citací WOS/Scopus: neevidován)
- Publikace č. XII:** Švec JG, Titze IR, Popolo PS: Estimation of sound pressure levels of voiced speech from skin vibration of the neck. *Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3, Pt.1): 1386-1394 (2005). [IF 1.677] (Počet citací WOS/Scopus: 61/66, z toho autocitací WOS/Scopus: 3/3)
- Publikace č. XIII:** Titze IR, Hunter EJ, Švec JG. Voicing and silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121 (1):469-478 (2007). [IF 1.587] (Počet citací WOS/Scopus: 62/73, z toho autocitací WOS/Scopus: 0/0)
- Publikace č. XIV:** Švec JG, Granqvist S: Guidelines for selecting microphones for human voice production research. *American Journal of Speech-Language Pathology* 19(4): 356-368 (2010). [IF 1.879] (Počet citací WOS/Scopus: 44/52, z toho autocitací WOS/Scopus: 4/5)
- Publikace č. XV:** Šrámková H, Granqvist S, Herbst CT, Švec JG: The softest sound levels of the human voice in normal subjects, *Journal of the Acoustical Society of America* 137(1): 407-418 (2015). [IF 1.644] (Počet citací WOS/Scopus: 11/13, z toho autocitací WOS/Scopus: 3/3)
- Publikace č. XVI:** Švec JG, Granqvist S: Tutorial and guidelines on measurement of sound pressure level (SPL) in voice and speech. *Journal of Speech Language and Hearing Research* 61(3): 441-461 (2018). [IF bude znám v r. 2019] (Počet citací WOS/Scopus: 2/4, z toho autocitací WOS/Scopus: 1/3)
- Publikace č. XVII:** Titze IR, Baken RJ, Bozeman KW, Granqvist S, Henrich N, Herbst CT, Howard DM, Hunter EJ, Kaelin D, Kent RD, Kreiman J, Kob M, Löfqvist A, McCoy S, Miller DG, Noé H, Scherer RC, Smith JR, Story BH, Švec JG, Ternström S, Wolfe J: Toward a consensus on symbolic notation of harmonics, resonances, and formants in vocalization. *Journal of the Acoustical Society of America* 137(5): 3005-3007 (2015). [IF 1.572]. (Počet citací WOS/Scopus: 24/27, z toho autocitací WOS/Scopus: 2/2)
- Publikace č. XVIII:** Švec JG, Lejska M, Frostová J, Zábrodský M, Dršata J, Král P: Česká verze dotazníku Voice Handicap Index pro kvantitativní hodnocení hlasových potíží vnímaných pacientem. *Otorinolaryngologie a Foniatrie* 58(3): 132-139 (2009). (Počet citací WOS/Scopus: -/11, z toho autocitací WOS/Scopus: -/3)
- Publikace č. XIX:** Herbst CT, Oh J, Vydrová J, Švec JG: DigitalVHI – a freeware open source application software to capture the Voice Handicap Index and other questionnaire data in various languages. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 40(2): 70-74 (2015). [IF 0.932]. (Počet citací WOS/Scopus: 0/0)
- Publikace č. XX:** Patel RR, Awan SN, Barkmeier-Kraemer J, Courey M, Deliyski D, Eadie T, Paul D, Švec JG, Hillman R: Recommended minimum protocols for instrumental assessment of voice: American Speech-Language Hearing Association Committee on Instrumental Voice assessment protocols. *American Journal of*

*Speech-Language Pathology* 27(3): 887-905 (2018). [IF bude znám v r. 2019]  
(Počet citací WOS/Scopus: 1/7, z toho autocitací WOS/Scopus: 1/4)

Počet citací byl stanoven ke dni 17.1.2019



**Prohlášení hlavních autorů k publikacím, ve kterých není autor této práce prvním nebo korespondenčním autorem**



## Corresponding author's statement in connection to the habilitation thesis

The undersigned who is the corresponding author on the papers below, hereby confirms that the candidate Jan G. Švec has contributed to the work as stated below:

### **Article (authors, title, journal):**

Lohscheller J, Švec JG, Döllinger M: Vocal-fold vibration amplitude, open quotient, speed quotient and their variability along glottal length: Kymographic data from normal subjects. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 38(4): 182-192 (2013).

### The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%     10 - 25 %     25 – 50 %     50 – 75 %     more than 75%

### The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec has initiated this work, collaborated on the design of the study, helped in interpretation of the results and co-wrote the paper.

Place: Trier

Date: 26th January 2018

Prof. Dr. Jörg Lohscheller

Hidden for protection

Signature





### Corresponding author's statement in connection to the habilitation thesis

The undersigned who is the corresponding author on the papers below, hereby confirms that the candidate Jan G. Švec has contributed to the work as stated below:

**Article (authors, title, journal):**

Titze IR, Švec JG, Popolo PS: Vocal dose measures: quantifying accumulated vibration exposure in vocal fold tissues. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46(4): 919-932 (2003).

The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%    10 - 25 %    25 - 50 %    50 - 75 %    more than 75%

The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec has collaborated on the design of the paper and on determining the vocal dose measures, has written portions of the text, performed the analysis of the data and created the figures.

**Article (authors, title, journal):**

Titze IR, Hunter EJ, Švec JG. Voicing and silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121 (1):469-478 (2007).

The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%    10 - 25 %    25 - 50 %    50 - 75 %    more than 75%

The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec has collaborated on designing the methods used in the paper and actively participated in writing the final version of the manuscript.

**Article (authors, title, journal):**

Titze IR, Baken RJ, Bozeman KW, Granqvist S, Henrich N, Herbst CT, Howard DM, Hunter EJ, Kaelin D, Kent RD, Kreiman J, Kob M, Löfqvist A, McCoy S, Miller DG, Noé H, Scherer RC, Smith JR, Story BH, Švec JG, Ternström S, Wolfe J: Toward a consensus on symbolic notation of harmonics, resonances, and formants in vocalization. *Journal of the Acoustical Society of America* 137(5): 3005-3007 (2015). <http://dx.doi.org/10.1121/1.4919349>

The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%    10 - 25 %    25 - 50 %    50 - 75 %    more than 75%

The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec has collaborated on the content of the paper, added some portions of the text with citations and actively participated on the efforts to reach consensus among specialists from different fields connected to human voice research.

Place:

Date:

*Philadelphia*  
*29 May 2015*

Prof. Ingo R. Titze, Ph.D.

Name

Hidden for protection

Signature



## Corresponding author's statement in connection to the habilitation thesis

The undersigned who is the corresponding author on the papers below, hereby confirms that the candidate Jan G. Švec has contributed to the work as stated below:

### **Article (authors, title, journal):**

Herbst CT, Ternström S and Švec JG. Investigation of four distinct glottal configurations in classical singing-A pilot study. *Journal of the Acoustical Society of America* 125: EL104-EL109, 2009.

### The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%     10 - 25 %     25 - 50 %     50 - 75 %     more than 75%

### The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec has supervised this work when I was his Ph.D. student. He collaborated on the design of the study, initiated the experiment, helped in interpretation of the results and in writing the paper.

### **Article (authors, title, journal):**

Herbst CT, Qiu Q, Schutte HK and Švec JG. Membranous and cartilaginous vocal fold adduction in singing. *Journal of the Acoustical Society of America* 129: 2253-2262, 2011

### The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%     10 - 25 %     25 - 50 %     50 - 75 %     more than 75%

### The contribution of the candidate in words:

Like in the case of the previous paper, Jan G. Švec has supervised this work when I was his Ph.D. student. He collaborated on the design of the study, participated in the experiment, helped in interpretation of the results and in writing the paper.

### **Article (authors, title, journal):**

Herbst CT, Oh J, Vydrová J and Švec JG. DigitalVHI - a freeware open source application software to capture the Voice Handicap Index and other questionnaire data in various languages. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 40: 70-74, 2015.

### The percentage of candidate's contribution to the paper:

Less than 10%     10 - 25 %     25 - 50 %     50 - 75 %     more than 75%

### The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec initiated and motivated the development of the software tool and participated in writing the paper.

Place: PÚCH

Date: 1.12.2017

Christian T. Herbst, Ph.D.  
Name **Hidden for protection**

Signature



**Corresponding author's statement in connection to the habilitation thesis**

Article (authors, title, journal):

Patel R, Awan S, Barkmeier-Kraemer J, Courey M, Deliyski D, Eadie T, Paul D, Švec JG, Hillman R: Recommended minimum protocols for instrumental assessment of voice: American Speech-Language Hearing Association Committee on Instrumental Voice assessment protocols. *American Journal of Speech-Language Pathology* 27(3): 887-905 (2018). [https://doi.org/10.1044/2018\\_ajslp-17-0009](https://doi.org/10.1044/2018_ajslp-17-0009)

The undersigned who is the first and corresponding author on the paper above, hereby confirms that the candidate Jan G. Švec has contributed to the work as stated below:

**The percentage of candidate's contribution to the paper:**

Less than 10%     10 - 25 %     25 – 50 %     50 – 75 %     more than 75%

The contribution of the candidate in words:

Jan G. Švec was selected as a technical expert on the American Speech-Language Hearing Association's Committee on Development of Instrumental (acoustics, aerodynamics, and imaging) Voice Assessment Protocols. Dr. Švec strong background of methodology and instrumentation used in diagnosis and treatment of voice disorders made him an ideal candidate for the American Speech-Language Hearing Association's Committee on Development of Instrumental Voice Assessment Protocols. He actively participated in the discussions on the recommended basic protocols in 2013-2016 for establishing a common consensus. His main contributions were in the parts devoted to technical specifications of data acquisition, examination procedures for laryngeal imaging and acoustic assessment, and data analysis for laryngeal imaging and acoustic assessment. He has critically revised several versions of the paper.

Place: Indiana University, Bloomington, Indiana, United States

Date: 10/22/2018

Name: Rita R. Patel, Ph.D., CCC-SLP

**Hidden for protection**

Signature

